

Trabajo de final de grado

**Grado en ingeniería en tecnologías industriales**

**Estudio y optimización energética de una vivienda de  
Barcelona**

**MEMORIA**

**Autor:** Álvaro Farrés Mira  
**Director:** Xavier Fernández Francos  
**Convocatoria:** Septiembre 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resumen

La sociedad está viviendo una problemática que jamás se ha tenido en cuenta hasta estos últimos tiempos: el excesivo consumo de recursos del planeta, como los combustibles fósiles, y su consecuente impacto en emisiones de CO<sub>2</sub>. Con el objetivo de reducir estas emisiones casi en su totalidad, se están implantando día a día nuevas leyes y normativas en todos los ámbitos y promulgando la que parece ser una solución global: la eficiencia energética.

El siguiente trabajo llevará a cabo la reforma de una vivienda situada en la periferia de la ciudad de Barcelona, perteneciente al municipio de Vallvidrera. El objetivo será reducir al máximo las emisiones de CO<sub>2</sub> al mismo tiempo que la demanda eléctrica, cumpliendo así con los apartados HE-0 y HE-1 del Código Técnico de la Edificación (CTE). El edificio data de 1927, y por tanto se considera que realizando unas pequeñas reformas este mejoraría de manera considerable energéticamente hablando. Para conseguirlo, se recreará la vivienda en la herramienta unificada Lider-Calener (HULC), plataforma oficial para la obtención del certificado energético. Posteriormente, se estudiarán y propondrán mejoras con el objetivo principal de mejorar la eficiencia y reducir la actual elevada demanda energética, pero a su vez evitando grandes instalaciones demasiado costosas que no se consideren fundamentales a la hora de cumplir con los objetivos.

Las mejoras se basarán en 2 bloques bien diferenciados: uno que concierne a la envolvente térmica del edificio y otro que afecta a la sustitución o mejora de los sistemas y equipos. Con esto se verá una mejora progresiva y diferenciada para que finalmente los habitantes tengan a su disposición múltiples alternativas para implantar en su hogar sin que generen un coste demasiado elevado.



## Tabla de contenidos

<b>1. PREFACIO</b>	<b>7</b>
1.1. Origen del proyecto .....	7
1.2. Motivación.....	7
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
2.1. Objetivos del proyecto.....	11
2.2. Alcance del proyecto .....	11
2.3. Planificación .....	12
<b>3. EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<b>14</b>
3.1. Consumo energético residencial en España .....	15
3.2. Criterios de confort.....	17
<b>4. NORMATIVA</b>	<b>19</b>
4.1. Código Técnico de la Edificación (CTE) .....	20
<b>5. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA</b>	<b>22</b>
5.1. Climatología y entorno .....	22
5.1.1. Radiación solar .....	23
5.2. Sistemas de climatización y generación .....	24
5.2.1. Sistemas radiantes .....	25
5.2.2. Sistemas de generación .....	26
5.3. Características generales .....	28
5.3.1. Elementos constructivos.....	28
5.4. Factura energética.....	33
<b>6. SIMULACIÓN</b>	<b>35</b>
6.1. Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC) .....	35
6.1.1. Definición de sistemas y equipos .....	37
6.2. Diseño de planos en NanoCAD.....	39
6.3. Visualizador de Cargas y Demandas .....	40
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>41</b>
<b>8. MEJORAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<b>46</b>
8.1. Mejoras de la envolvente térmica.....	46
8.1.1. Muros.....	46
8.1.2. Ventanas .....	46
8.2. Instalación de energías renovables .....	47
8.2.1. Energía solar.....	47
8.2.2. Biomasa .....	49
8.2.3. Energía solar térmica.....	50
8.3. Aumento del rendimiento de los equipos actuales .....	51
<b>9. RESULTADOS CON MEJORAS APLICADAS</b>	<b>53</b>
9.1. Envolvente térmica.....	53
9.2. Sustitución de equipos .....	57
<b>10. IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>61</b>
<b>11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>62</b>

## 12. BIBLIOGRAFÍA \_\_\_\_\_ 63

# 1. Prefacio

## 1.1. Origen del proyecto

El cambio climático es la mayor amenaza ambiental del siglo XXI, originando problemas y conflictos sociales, económicos y medioambientales. Cada día la sociedad vive más mentalizada con esta problemática, y aunque sea de impacto lento, debería figurar entre las principales prioridades de todos los gobiernos. Para tratar de solventarlo, lo ideal es empezar desde dentro, a nivel doméstico. Es por esta razón que la eficiencia adquiere un papel trascendental.

La eficiencia energética es vital para alcanzar un mundo sostenible. En todos los sectores se intenta conseguir el máximo rendimiento utilizando los menores recursos posibles. Esto no tiene porqué conllevar grandes inversiones de dinero o nuevas tecnologías. Durante el trabajo se demostrará como con pequeños cambios en la forma de vivir o reformas que no alteren la estructura del edificio, se puede llegar a reducir la demanda de energía en un porcentaje muy significativo para el hogar. Además, el uso de energías renovables en la vivienda no solo contribuye al medio ambiente, sino que también puede reducir de manera significativa la factura energética.

## 1.2. Motivación

El 33% de las viviendas unifamiliares de España han sido construidas previamente al año 1979 [1]. Como es de esperar, también son los tipos de viviendas más problemáticos medioambientalmente pues acostumbran a consumir energías procedentes de fuentes no renovables o a emitir mayores cantidades de CO<sub>2</sub>.

El domicilio a estudiar fue construido en 1927, con una importante reforma en 1992, pero sin alterar la estructura principal y, por tanto, sin incidir en su eficiencia energética. Consiste de 3 plantas, la inferior se trata del garaje, pero al no ser una zona habitable, no se va a tener

en cuenta. Esto nos deja con un proyecto de dos plantas habitables. La planta baja cuenta con una sala de estar, dos dormitorios, una cocina, dos baños y una extensión de 441 m<sup>2</sup>. La primera planta es ligeramente más pequeña, con otra sala de estar, dos dormitorios e igualmente dos baños, y su extensión abarca 399 m<sup>2</sup>.

Facturas desproporcionadas de luz principalmente me llevaron a realizar un estudio exhaustivo del hogar. Su único sistema de calefacción son radiadores eléctricos de 2 kW y una chimenea. Asimismo, dispone de 2 termos eléctricos, de capacidad 200 litros. La vivienda dispone de un sistema de calefacción por superficie radiante, pero lamentablemente nunca se llegó a utilizar.

En definitiva, está claro que la edificación tiene una eficiencia energética relativamente baja y sistemas muy mal gestionados. Si se lleva a cabo un proyecto dedicado a ello, se podrían establecer mejoras notorias que evitarían las grandes diferencias de temperatura que se están viviendo a día de hoy, como por ejemplo que un dormitorio se encuentre a 11°C en invierno.



## 2. Introducción

Vivimos en un mundo donde cada día se requiere más energía eléctrica. Grandes potencias luchan para estar en la vanguardia del progreso tecnológico y el bienestar. Como consecuencia, en las últimas décadas se han introducido numerosos avances de los cuales no podríamos prescindir hoy en día, tales como el teléfono móvil, el ordenador y la televisión entre muchos otros. Este desarrollo tecnológico viene aparejado de un incremento en el consumo de energía eléctrica.

El uso de energía eléctrica en España ha aumentado casi 5 veces desde 1970, pasando de 56.500 GWh a 268.877 GWh en 2018. Tal crecimiento de la demanda es debido tanto al sector residencial como a la parte industrial. Se debe tener en cuenta que las viviendas se han duplicado en número desde entonces, y que las industrias y grandes multinacionales se han expandido muy rápidamente principalmente debido a la globalización[2].

Es de vital importancia entender que la demanda eléctrica va a seguir aumentando a lo largo de las décadas, y por tanto su producción. Para evitar consumir en exceso los recursos naturales del planeta, y teniendo en cuenta también los problemas de contaminación como las emisiones de CO<sub>2</sub>, se prioriza la producción de energía en base a renovables.

Con múltiples proyectos en curso que requieren una alta demanda eléctrica, como la implementación de un sistema de transporte público eléctrico, tiene sentido que cada vez se intente ser más eficiente energéticamente hablando. En 2018, el 40% de la electricidad producida en España provenía de fuentes de energía renovables[3]. Además, grupos de particulares, colegios y hospitales ya han empezado a optar por este tipo de recursos. Asimismo, España es el quinto país de la unión europea con la electricidad más cara, y estudiar sistemas para reducir su consumo sin necesidad de llevar a cabo grandes instalaciones puede ser de interés[4].

En el marco reglamentario de la edificación, el real decreto 47/2007, 19 de enero, informa que es obligatorio para todo nuevo edificio mostrar su certificado energético. La existencia

de este certificado con su correspondiente letra, además de ser una herramienta informativa para el usuario en la compra o alquiler de la vivienda, da una idea de cuál es la situación actual i como se podría actuar. Debido a los requisitos mínimos que el CTE impone, raramente se obtienen certificados inferiores a la letra C. Entre estos requisitos están el rendimiento de las instalaciones térmicas, la eficiencia energética o la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria. Además, la Unión Europea tiene como objetivo en 2020 que los edificios de nueva construcción tengan un gasto energético mínimo.

Más adelante, el real decreto 235/2013 actualiza el de 2007. En este caso, todo edificio deberá mostrar a los compradores el certificado de eficiencia energética que deberá incluir valores mínimos sobre su eficiencia o emisiones de CO<sub>2</sub> con el fin de que el comprador o arrendatario tenga la posibilidad de comparar o invertir en el más conveniente[5]. Por último, el real decreto 732/2019 modifica el CTE, y añade un nuevo Documento Básico de Ahorro de Energía (DBHE). Este decreto establece requisitos mínimos más estrictos con respecto a los edificios de nueva edificación, lo que se estima que supondrá una reducción del consumo de energía primaria no renovable alrededor de un 40% [6].

A día de hoy, la normativa del CTE solo se aplica a edificios de nueva construcción, reformas significativas o cambio de uso del edificio. Es decir, las construcciones antiguas no están sometidas a ninguno de los requisitos mínimos a no ser que sea una rehabilitación importante. No podemos dejar de lado los equipos consumidores, ya que normativas recientes establecen que estos deben ser cada vez más eficientes. Por tanto, cualquier intervención que pueda afectar a dichos equipos podría suponer un ahorro energético.

Hemos visto que todos los edificios nuevos serán eficientes en cierto grado, pero ¿qué pasa con las construcciones anteriores? ¿Existen mejoras a implementar para conseguir una diferencia significativa en la eficiencia de estos?

## 2.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es la propuesta de cambios en la vivienda para conseguir un certificado energético con la menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> posibles, pero siempre siendo realista en el sentido de evitar grandes instalaciones si no se dispone del espacio necesario o del volumen económico.

Se deberá realizar un estudio para la inclusión de equipos más eficientes, así como para reducir la demanda que actualmente requiere el hogar. Para llegar a lograrlo, también se deberá:

- Conocer e informarse de la normativa actual referente a certificación y eficiencia energética en edificios residenciales, entre ellos el Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE y sus correspondientes secciones, ya que algunas se deberán verificar con el software.
- Comprender la importancia y el impacto de las condiciones climáticas y de la envolvente térmica. Estar familiarizado también con los equipos de climatización y el agua caliente sanitaria (ACS) en su demanda y con el consumo de energía en edificios residenciales.
- Familiarizarse con herramientas de software oficiales para certificación energética y evaluación de la demanda y consumo energético, en particular la herramienta oficial HULC. Esta nos ayudará a estudiar oportunidades de mejora de eficiencia energética.

## 2.2. Alcance del proyecto

Para la realización de este proyecto se han asumido varias simplificaciones o limitaciones de las que sino, el trabajo hubiera adquirido un nivel de complejidad demasiado alto. No obstante, se ha intentado ceñirse a la realidad en todo momento y hacer aproximaciones que no afectaran al proyecto en su conjunto. Estas son:

- Conocimiento incompleto de detalles constructivos de la vivienda con impacto en la demanda energética como por ejemplo puentes térmicos, cuyo efecto se aproxima mediante los valores por defecto establecidos en la herramienta HULC.
- Utilización del perfil de uso residencial para temperaturas de consigna, cargas térmicas y ventilación establecido en el proceso de certificación energética pese a la ocupación parcial y estacional de la vivienda.
- Aproximación del comportamiento de los equipos térmicos actuales según los modelos disponibles en la herramienta HULC.

En el proyecto se utilizará la herramienta HULC para evaluar la situación actual de la vivienda desde un punto de vista energético. También se estimará el impacto energético y económico de diferentes medidas, pero no el estudio en detalle de su implementación.

### 2.3. Planificación

Con el objetivo de organizar de forma adecuada las tareas y las horas invertidas, se ha elaborado un diagrama de Gantt donde se resumen el trabajo en cada apartado. El eje horizontal muestra la duración en semanas.

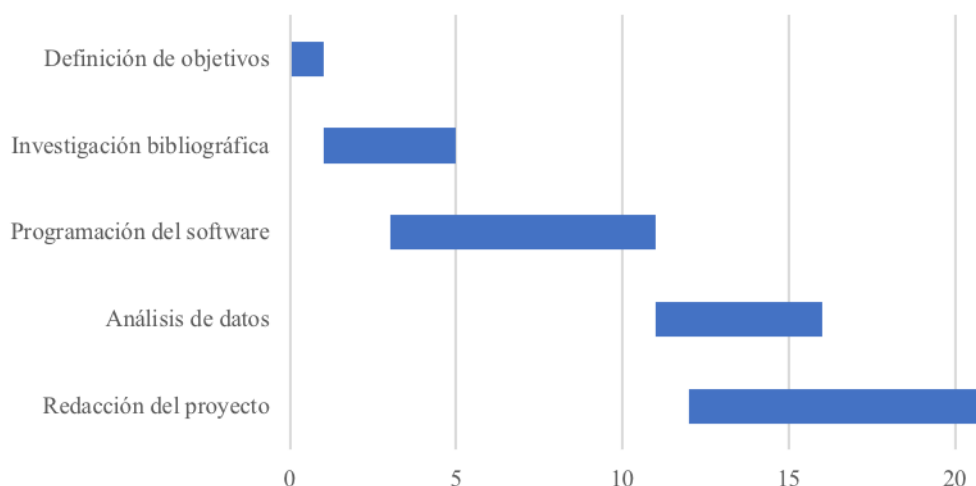


Figura 2.1. Diagrama de Gantt para la planificación de tareas. *Fuente: Elaboración propia*

Después de marcar los objetivos y el alcance preliminar del proyecto, se procedió con la investigación bibliográfica de los diferentes sistemas y equipos, así como la evolución de la normativa. Sin embargo, el grueso del proyecto lo ocupó la programación del software HULC. Este consistía tanto en el aprendizaje de la herramienta como en la introducción de las características generales de la vivienda. A continuación, se analizaron los resultados obtenidos con la ayuda de la herramienta unificada, además del visualizador de cargas y demandas. Por último, se prosiguió a la redacción completa del proyecto, añadiendo las conclusiones extraídas.

### 3. Eficiencia energética

Cada día cobra más sentido el término de eficiencia energética y la sociedad ya empieza a familiarizarse con él. Ser eficiente significa hacer un uso de la energía por debajo de la media para realizar una misma actividad. Además, una instalación eficiente intenta que la mayor parte de la energía utilizada provenga de fuentes de energía renovables. Por ejemplo, gracias al progreso tecnológico, hoy en día las viviendas tienen la capacidad de reducir un gran porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> y ahorrar el consumo de calefacción o refrigeración. Para conseguirlo, no se requieren grandes inversiones o instalaciones demasiado aparatosas, existe una gran diversidad, como el simple hecho de instalar una capa de aislante en los muros exteriores o tener un tipo de cristal doble con cámara de aire en el interior.

Cada año se van actualizando e integrando nuevas leyes para la reducción de la demanda eléctrica y promover fuentes de energía alternativas. En la actualidad, el objetivo es llegar a desarrollar una construcción que tenga un gasto energético casi nulo, según la directiva (UE) 2018/844. Aunque pueda llegar a parecer un escenario ficticio o lejano a nuestra realidad, veremos que con pequeñas modificaciones se pueden llegar a conseguir cambios considerables. La figura 3.1 muestra la evolución de la disminución del gasto de energía para una misma actividad a realizar.

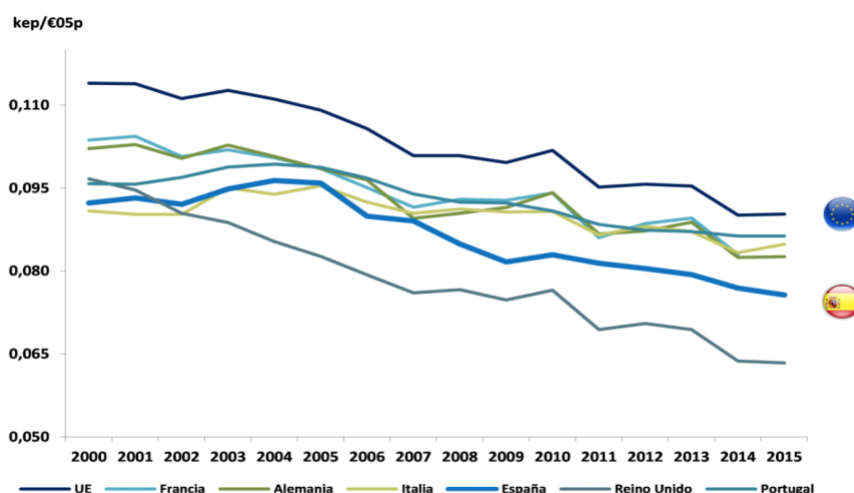


Figura 3.1. Evolución anual de la intensidad energética final (consumo de energía final por unidad de PIB). Fuente: IDAE, Estudios, informes y estadísticas

### 3.1. Consumo energético residencial en España

Con el objetivo de tener un marco comparativo más amplio, este apartado intenta mostrar los datos más relevantes en cuestión al consumo de hogares a nivel nacional. Los datos que se muestran a continuación han sido extraídos del proyecto sech-spahousec, realizado por IDAE en 2011, con la finalidad de desglosar al máximo el consumo residencial dependiendo de varias características.

La figura 3.2 muestra un diagrama de sectores que da una idea de qué es lo que más demanda requiere y, por tanto, dónde se debe incidir con mayor peso. Los hogares en España consumen el 47% de la demanda energética en calefacción, convirtiéndose pues en una de las principales prioridades.

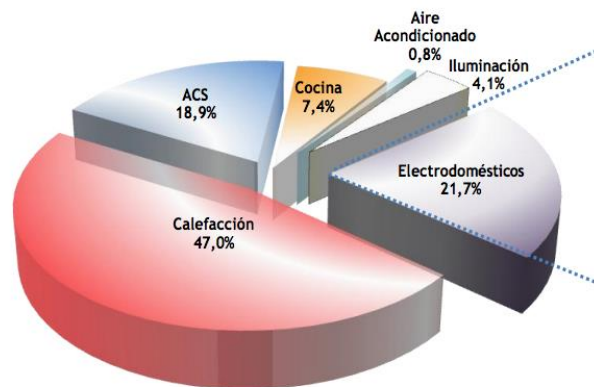


Figura 3.2. Diagrama de sectores que desglosa el consumo energético residencial. *Fuente: Proyecto sech-spahousec*

Otro aspecto que adquiere importancia son las fuentes de la energía suministrada. Como se ha comentado previamente, no solo es necesario reducir la demanda, sino intentar que los equipos sean lo más eficientes posibles y basándose en renovables.

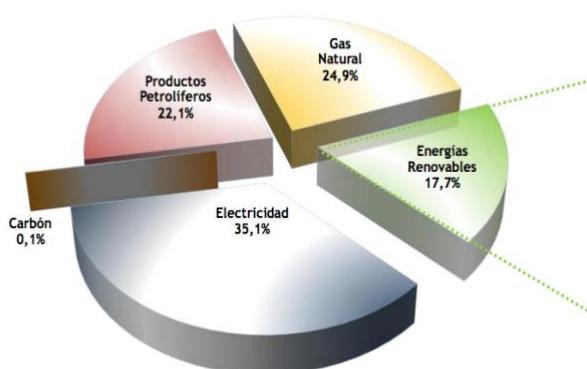


Figura 3.3. Diagrama de sectores desglosando las fuentes de energía del consumo residencial. *Fuente: Proyecto sech-spahousec*

La figura 3.3 muestra que casi el 50% del consumo residencial está basado en gas natural y productos petrolíferos. A su vez, observamos que cada vez más las energías renovables adquieren un papel importante, pero que casi su totalidad son basadas en la biomasa. El hogar a estudiar no es tan ineficiente en el sentido de que se basa en la electricidad, y la finalidad será tratar de introducirlo a nuevas formas de energías.

Para ser más concretos, un hogar en la zona mediterránea consume de media 8,959 kWh, un 15% menos que la media nacional. Su localización comporta una climatología más húmeda que el resto, con unas temperaturas bastante altas en las estaciones de calor, pero más suaves en invierno. Como consecuencia, el uso de sistemas de refrigeración aumenta, pero disminuye la necesidad del uso de sistemas de calefacción, siendo este mucho mayor en el resto del país. La figura 3.4 refleja la gran diferencia de las necesidades de calefacción con las de refrigeración, además de los electrodomésticos habituales que más consumen.



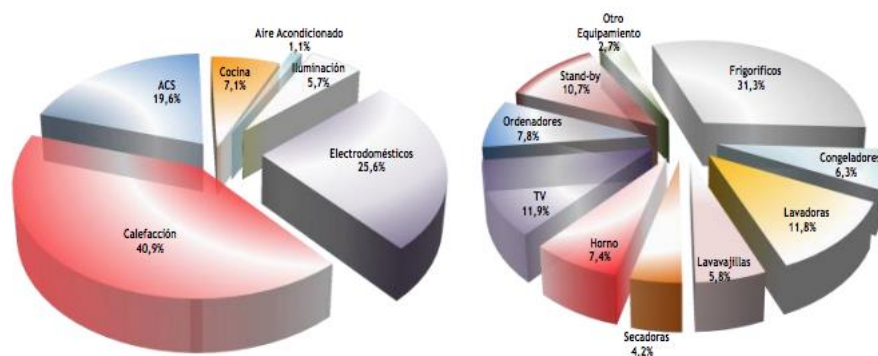


Figura 3.4. Diagrama de sectores comparando los consumos residenciales en la zona mediterránea. *Fuente: Proyecto sech-spahousec*

Por último, en la zona mediterránea, el uso de energía eléctrica es el más prevaleciente. Asimismo, la apuesta por energías renovables es la mayor respecto a cualquier otra zona del país.

### 3.2. Criterios de confort

Como se ha visto en la normativa, el Código Técnico de Edificación se basa en la comodidad y el bienestar de los habitantes del hogar. Para lograrlo, se deberán definir unos parámetros básicos de temperatura, humedad relativa y calidad del aire.

El grado de confort térmico se divide en 2 estaciones: invierno y verano. El real decreto 107/2007 aprobó los rangos frente al confort térmico mostrados en la tabla 3.1.

Estación	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Tabla 3.1. Definición de los parámetros de confort

Por otro lado, en las condiciones de habitabilidad, se tienen que establecer unas condiciones de calidad del aire interior adecuadas y unos mínimos de protección frente a la humedad. Esto se consigue disponiendo de aberturas y bocas de ventilación, conductos de extracción, ventanas y puertas exteriores, entre otros[7]. Estas condiciones para garantizar el bienestar vienen dadas en el Documento Básico HS de Salubridad. Debido a su impacto energético, también se tienen en cuenta en el cálculo de la demanda que se lleva a cabo en el proceso de la certificación energética.

## 4. Normativa

El sector de la construcción es uno de los más importantes de la Unión Europea, ya que se destina el 40% de la energía a este. No obstante, el 75% de los edificios actualmente son ineficientes energéticamente hablando[8]. Es por ello que la UE se ha visto obligada a reformar algunas directivas propuestas en años anteriores con el objetivo de sacarle provecho a la energía utilizada y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En 2018, se modificaron las directivas 2010/31/UE y 2012/27/UE, introduciendo la nueva directiva 2018/844. El objetivo de esta nueva directiva es “establecer un sistema energético, sostenible, competitivo y descarbonizado de aquí a 2050”. Para ello, se definieron los siguientes objetivos:

- Descarbonizar el parque inmobiliario. Esto se debe a que el 50% de la energía utilizada por la UE se destina a calefacción o refrigeración. Como veremos, este número se puede reducir sustancialmente implementando ciertos cambios.
- Acceso igualitario a la financiación para la renovación de los edificios en la UE. Para alcanzar las metas propuestas, no solo los nuevos edificios deben tener un gasto energético casi nulo, sino que las reformas de edificios antiguos en peor estado deberían ser asequibles económicamente.
- Establece la obligatoriedad de hacer inspecciones periódicas del funcionamiento, rendimiento y dimensiones de instalaciones que sobrepasen los 70 kW de potencia útil.

Estos son los puntos más destacables con respecto a la normativa europea. A largo plazo, pretende que en 2050 casi la totalidad de las edificaciones posean consumo energético casi nulo.

## 4.1. Código Técnico de la Edificación (CTE)

Con respecto a la normativa nacional, el real decreto 314/2006 intentó unir todas las normativas que conciernen a la eficiencia energética de los edificios.

Este código abarca varios aspectos de la edificación. No solamente se centra en el ahorro de energía, sino que también cubre los requisitos básicos de seguridad. No obstante, los parámetros necesarios para desarrollar este proyecto son los que se presentan a continuación:

- El consumo energético de los edificios se limitará en función de la zona climática de su ubicación, y la mayor parte de la energía requerida provendrá de fuentes renovables.
- Las instalaciones térmicas de las que dispongan los edificios serán apropiadas para lograr el bienestar térmico de sus ocupantes.
- Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente, disponiendo de un sistema de control que permita ajustar su funcionamiento a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.
- Los edificios satisfacerán sus necesidades de ACS y de climatización de piscina cubierta empleando en gran medida energía procedente de fuentes renovables o procesos de cogeneración renovables.
- En los edificios con elevado consumo de energía eléctrica se incorporarán sistemas de generación de energía eléctrica procedente de fuentes renovables para uso propio o suministro a la red.

El CTE también tiene un apartado de la limitación de la demanda energética, el HE-1. Este menciona que los edificios de nueva construcción o intervenciones en edificios existentes tienen que disponer de una envolvente térmica que limite un mínimo la demanda de energía para así garantizar el bienestar térmico y situarse dentro de los límites de confort sin un consumo desorbitado. Este apartado está contenido en el documento básico de Ahorro de energía, actualizado por última vez en 2019.

Finalmente, el CTE pone al alcance de los usuarios varias aplicaciones softwares con tal de verificar sus diferentes apartados:

- **Visor CTE XML:** Aprovecha los informes de evaluación energética facilitando su comprobación, visualización y edición.
- **Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC):** Es el software más utilizado a día de hoy para la certificación energética de edificios. Además, facilita la verificación del CTE DB-HE.
- **CHEQ4:** Este software permite la aplicación, cumplimiento y evaluación de la sección HE4 del Documento básico de ahorro de energía. Dicha sección cita la contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de ACS.
- **Catálogo informático de elementos constructivos (CEC):** Contiene una base de datos que recoge información de las características técnicas de los materiales.

## 5. Descripción actual de la vivienda

### 5.1. Climatología y entorno

Uno de los aspectos más relevantes a la hora de construir una vivienda, o en este caso reformarla, es estudiar y conocer en qué clima está ubicada. Es más, casi la totalidad del proyecto, tanto materiales como sistemas de mejora, están basados en si el clima es muy húmedo, con escasez de lluvias, si el hogar está expuesto a una alta irradiación solar, etc.

Como se muestra en la figura 5.1, la casa se encuentra dentro del parque de la sierra de Collserola, en la localidad de Barcelona, número 139 de la carretera de las aguas y a 230 metros sobre el nivel del mar. Al ser una vivienda unifamiliar (sin pertenecer a ningún edificio o complejo de casas que puedan desprender emisiones debido a instalaciones de aires acondicionados) y rodeada de carreteras sin asfaltar, hace que la temperatura media durante todo el año sea considerablemente menor a la de la ciudad. La fachada está orientada al noreste, por lo que se podrá beneficiar de las ventajas solares, ya que no hay árboles o edificios que bloqueen la irradiación.

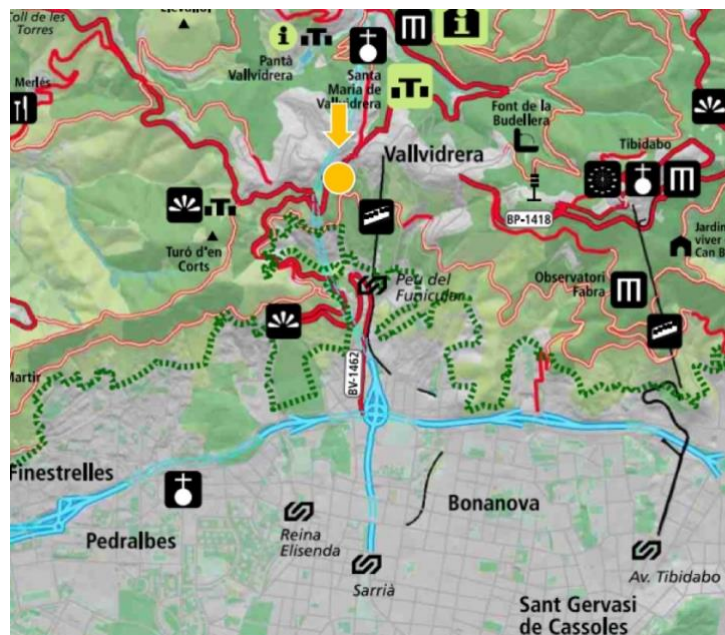


Figura 5.1. Delimitación del Parque Natural de la sierra de Collserola y ubicación de la vivienda. *Fuente: [www.parcnaturalcollserola.cat](http://www.parcnaturalcollserola.cat)*

Collserola se caracteriza por un clima de influencia mediterránea, con inviernos suaves y veranos calurosos y secos, sin apenas precipitaciones en esta última estación. Las precipitaciones suelen ser concentradas e irregulares, más intensas en los meses de primavera y otoño, con un total anual medio de 526 mm en los últimos diez años.

Según los datos del Observatorio Fabra, la temperatura media anual ronda los 16 °C, 2,5 grados menos que en la localidad de Barcelona. Raramente la temperatura desciende los 5 °C en invierno, y en verano, es de aproximadamente 22 °C. En la figura 5.2 se aprecia de forma más gráfica la comparativa de temperatura y precipitaciones mensual.

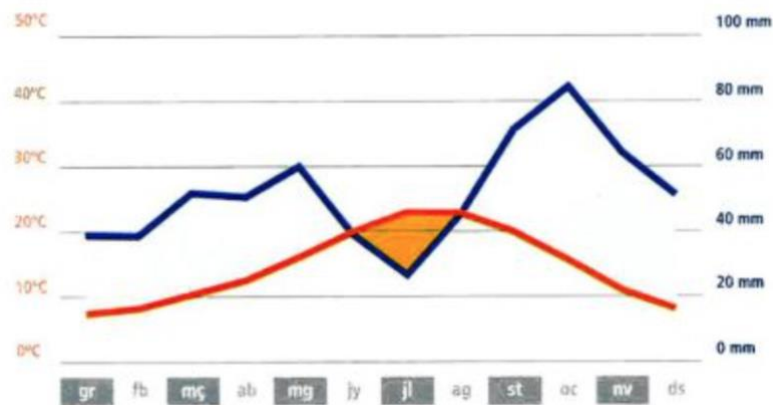


Figura 5.2. Comparativa de temperatura y precipitación. *Fuente:* [www.parcnaturalcollserola.cat](http://www.parcnaturalcollserola.cat)

### 5.1.1. Radiación solar

La radiación solar hace referencia a la irradiación global diaria sobre una superficie horizontal. Esta medida se expresa en MJ/m<sup>2</sup>, y como sus propias unidades indican, es la cantidad de energía recibida por unidad de superficie. Hablamos de irradiación global ya que los instrumentos que la miden no solo captan la energía proveniente del sol (radiación directa), sino también la que proviene del resto del cielo difundida por la atmósfera (radiación difusa).

La media anual de irradiación global en Barcelona se encuentra alrededor de los 16 MJ/m<sup>2</sup>, que equivalen a 4,44 KWh/m<sup>2</sup>, con más intensidad en los meses de verano. La figura 5.3 nos da una idea de la cantidad de radiación solar recibida durante los diferentes meses del año.

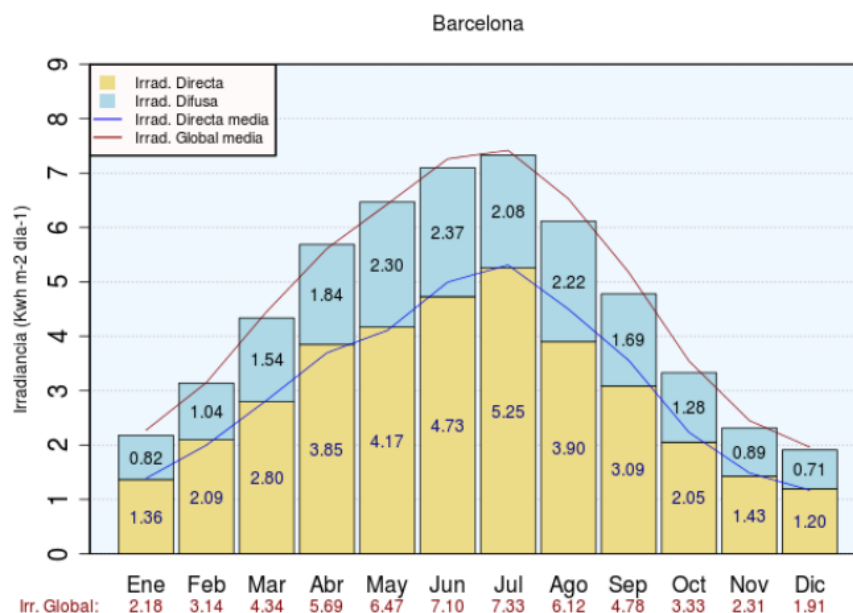


Figura 5.3. Distribución por meses de la radiación solar en la provincia de Barcelona.

*Fuente: AEMET*

## 5.2. Sistemas de climatización y generación

Para cumplir con los requisitos básicos de confort mencionados anteriormente, es importante disponer de buenos equipos de climatización que abarquen todas las zonas habitables sin que requieran grandes costes mensuales.

La última reforma de la vivienda se llevó a cabo hace casi 30 años, por lo tanto, los sistemas actuales se van deteriorando hasta el punto de no trabajar correctamente. Como consecuencia, se va a estudiar lo que actualmente se dispone, observar si es útil y eficiente, y a partir de ahí proponer mejoras para el mayor bienestar de los residentes.



La casa nunca ha cumplido con los intervalos de temperatura mencionados, su principal fuente de calor son radiadores eléctricos de 2 kW colocados de forma estratégica por las estancias, aparte de una chimenea situada en el salón. Una ventaja a estudiar es que la vivienda cuenta con una instalación de superficie radiante por todo el suelo a pesar de que no se haga uso.

Con respecto a los sistemas de aire acondicionado, solo se dispone de uno en la habitación principal del primer piso. En las otras partes de la casa, se ayuda a acondicionar con ayuda de cortinas impidiendo parcialmente la entrada de los rayos solares.

Finalmente, destacar que la potencia contratada es de 5,4 kW. Esta potencia contratada es la cantidad que limita el número de equipos que se pueden conectar de forma simultánea a la red eléctrica sin que salte el Interruptor de Control de Potencia (ICP).

### **5.2.1. Sistemas radiantes**

#### **Radiadores eléctricos**

Los radiadores eléctricos son una buena alternativa para calentar estancias durante un tiempo determinado debido a su sencillez y bajo coste. Su principal ventaja es que no requieren de ninguna instalación de gas tanto butano como natural, solamente se necesita una toma de corriente. Generalmente suelen estar fabricados de aluminio, debido a su alto factor de transmisión de energía[9]. Además, el mercado de hoy ofrece numerosos modelos que se pueden adaptar perfectamente a las necesidades de cada hogar, sobre todo en el caso de que éste presente dificultades a la hora de una instalación de gas. Estos modelos pueden ser radiadores eléctricos con fluido calor-portador, radiadores eléctricos de bajo consumo, radiadores eléctricos por infrarrojos, entre muchos otros[10].

El inconveniente que presenta esta tecnología es que su consumo eléctrico asociado es muy irregular e inestable en comparación con los de circulación por agua. Es más, recientemente el precio de la energía eléctrica presenta un crecimiento mayor comparado con el del gas.

## Superficies radiantes

Este sistema consiste en una instalación de red de tuberías, generalmente de plástico, por toda la superficie, transportando agua caliente o fría, según la época del año. Trabaja a baja temperatura, es decir, generalmente el agua que circula no superará los 40 °C. Esto es un gran punto a favor ya que los sistemas de generación de calor necesitan aportar mucha menos energía, haciendo esta alternativa compatible con energías renovables. En la figura 5.4 se muestra un esquema visual de su funcionamiento.

Como inconveniente cabe destacar que tiene una elevada inercia térmica, lo que significa que necesitará mucho más tiempo para calentar que los radiadores. Finalmente, requiere de una compleja y costosa instalación.



Figura 5.4. Funcionamiento de superficies radiantes. *Fuente: rehau.com*

### 5.2.2. Sistemas de generación

#### Chimenea

Las chimeneas son un complemento de energía natural a la calefacción para reforzar las estancias principales de la vivienda. Es un recurso de alta temperatura. No obstante, su

rendimiento es notablemente bajo en comparación con otros equipos de calefacción. Es por este motivo que, al introducir la chimenea en la herramienta unificada, se deberá detallar como un sistema único de calefacción con biomasa como combustible y con un rendimiento alrededor del 40%.

### Termo eléctrico

Actualmente la casa cuenta con dos termos eléctricos de capacidad 200 litros (sus características específicas se encuentran en el anexo 13.1) que proporcionan el ACS necesaria.

El funcionamiento de un termo eléctrico es muy sencillo (figura 5.5). El tanque se llena de agua fría la cual se mezcla con el agua ya caliente, entonces esta se vuelve a calentar mediante una resistencia eléctrica. Este equipo cuenta con un termostato que mide la temperatura del agua en el interior, la cual no debe ser inferior a los 60 ° C. En cuanto ésta llega a la temperatura deseada, se deja de suministrar corriente a la resistencia[11]. Llegados a este punto, el agua caliente se distribuye en función de la demanda.

Un inconveniente de este tipo de sistema es la limitación del ACS y de las pérdidas de calor, las cuales reducen el rendimiento global del sistema. Es por este motivo que se recomienda que la instalación del termo eléctrico esté lo más cerca posible de los espacios en que se vaya a utilizar el agua.

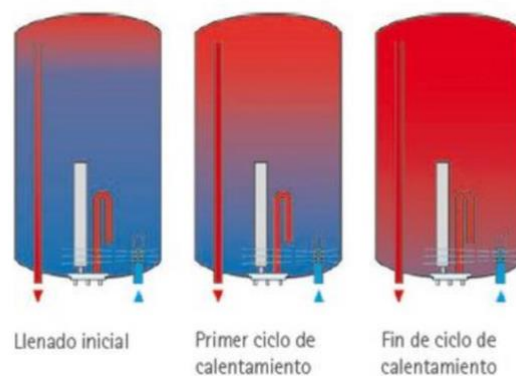


Figura 5.5. Funcionamiento básico de un termo eléctrico. Fuente: *construmatica.com*

## **5.3. Características generales**

### **5.3.1. Elementos constructivos**

Definir correctamente y de forma detallada las paredes, muros y diferentes particiones de la casa es necesario a la hora de calcular el gasto energético ya que casi la totalidad del calor o frío entra y sale de allí.

Los muros y las diferentes particiones de la vivienda son los originales, es decir, datan de 1927. El componente principal de los muros exteriores es el ladrillo, sin contar con ningún tipo de aislamiento térmico.

La transmitancia térmica es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo de una o más capas. Se caracteriza con la letra U y se utiliza para estudiar la envolvente térmica. Cuánto más bajo es el valor, menos calor se transmite entre las dos superficies.

La sección HE-1 del Documento Básico de Ahorro de Energía impone unos valores mínimos de U para edificios de nueva construcción o reformas significativas. Este valor consigue reforzar la envolvente térmica y así limitar la demanda. La tabla 5.1 muestra estos valores mínimos dependiendo de qué zona de la vivienda se trate y de la zona climática. En este caso nos encontramos en la C.

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s$ , $U_M$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ ) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_H$ )*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

Tabla 5.1. Valores límite de transmitancia térmica. *Fuente: CTE*

### Muro exterior

Los muros exteriores de la casa se caracterizan por tener una doble capa de ladrillo. Su espesor total es de aproximadamente 30 cm. En la tabla 5.2, se especifica de forma más detallada los materiales:

Material	Espesor [m]	Conductividad $[\frac{W}{m \cdot K}]$	Densidad $[\frac{Kg}{m^3}]$
½ pie LM métrico o catalán	0,115	0,991	2170
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
½ pie LM métrico o catalán	0,115	0,991	2170
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150

Tabla 5.2. Descripción de los materiales que componen el muro exterior

$$U=1,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Observamos el valor de  $U=1,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , valor muy por encima del límite establecido en la tabla 5.1. Esto podría sugerir que una vía para reducir la demanda en el hogar sería reforzando la envolvente térmica de los muros.

## Cimentación

Material	Espesor [m]	Conductividad $[\frac{W}{m \cdot K}]$	Densidad $[\frac{Kg}{m^3}]$
Azulejo cerámico	0,02	1,3	2300
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
Hormigón armado	0,2	2,3	2400
Tierra vegetal	0,3	0,52	2000

Tabla 5.3. Descripción de los materiales que componen la cimentación

$$U=1,13 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

## Cubierta

A la hora de definir la cubierta, se ha tenido que dividir en 2 partes, ya que toda la vivienda dispone de un tipo de cubierta menos la habitación principal, que está compuesta por materiales totalmente distintos. En la figura 5.6 se distinguen claramente los dos tipos de cubierta:



Figura 5.6. Comparativa de los 2 tipos de cubierta

La cubierta que acapara casi la totalidad de la vivienda se compone de lo siguiente:

<b>Material</b>	<b>Espesor [m]</b>	<b>Conductividad</b> $[\frac{W}{m \cdot K}]$	<b>Densidad</b> $[\frac{Kg}{m^3}]$
Azulejo cerámico	0,02	1,3	2300
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
Tabicón de LH doble	0,06	0,432	930
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150

Tabla 5.4. Descripción de los materiales que componen la cubierta

$$U=1,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Por otra parte, la cubierta de la habitación principal contiene los siguientes materiales:

<b>Material</b>	<b>Espesor [m]</b>	<b>Conductividad</b> $[\frac{W}{m \cdot K}]$	<b>Densidad</b> $[\frac{Kg}{m^3}]$
Acero inoxidable	0,1	17	7900
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
EPS Poliestireno Expandido	0,02	0,038	30
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150
Hormigón en masa	0,02	1,65	2150

Tabla 5.5. Descripción de los materiales que componen la cubierta de acero

$$U=1,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### **Forjado interior**

Este apartado constituye al forjado entre plantas, el cual se caracteriza de los siguiente:

Material	Espesor [m]	Conductividad [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]	Densidad [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]
Azulejo cerámico	0,02	1,3	2300
Mortero de cemento	0,02	0,55	1125
Hormigón en masa	0,02	1,65	2150
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150

Tabla 5.6. Descripción de los materiales que componen el forjado interior

$$U=2,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### Tabique

Material	Espesor [m]	Conductividad [ $\frac{W}{m \cdot K}$ ]	Densidad [ $\frac{Kg}{m^3}$ ]
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150
Tabicón de LH doble	0,06	0,432	930
Enlucido de yeso	0,02	0,57	1150

Tabla 5.7. Descripción de los materiales que componen el tabique

### Cristalera

No se debe pasar por alto las cristaleras en esta vivienda, ya que abarca gran parte tanto de la planta baja, como de la primera. En total se dispone de 2 tipos de cristales, ya que cuando la casa se reformó se decidió cambiar solamente algunos de ellos.

En un principio, toda la vivienda contaba con vidrios monolíticos, que no ofrecían ningún tipo de aislamiento o resistencia. Al estudiar el ahorro energético que un vidrio podía ofrecer, se decidió instalar vidrios dobles con una cámara de aire intermedia.

Este tipo de cristalera está formada por dos hojas de vidrio con una cámara intermedia de aire deshidratado sellada herméticamente[12] (ver composición en la figura 5.7). Esta tecnología consigue un gran aislamiento térmico y acústico, reduciendo en ocasiones el



consumo energético en más de un 50%. En nuestro caso, el vidrio está constituido por capas interior y exterior de 4mm de vidrio y una cámara intermedia de aire de 12mm. Para ver de forma más precisa la comparativa de estos dos vidrios, el de doble acristalamiento presenta una  $U$  entre 2-2,5  $W/(m^2 \cdot K)$ , frente a una  $U=5,8 W/(m^2 \cdot K)$  para el vidrio monolítico[13]. Como se ha presentado en la tabla 5.1, la nueva normativa exige un valor mínimo de  $U$  para nuevas construcciones de 2,1  $W/(m^2 \cdot K)$ . La figura 5.8 representa la función que desempeña.

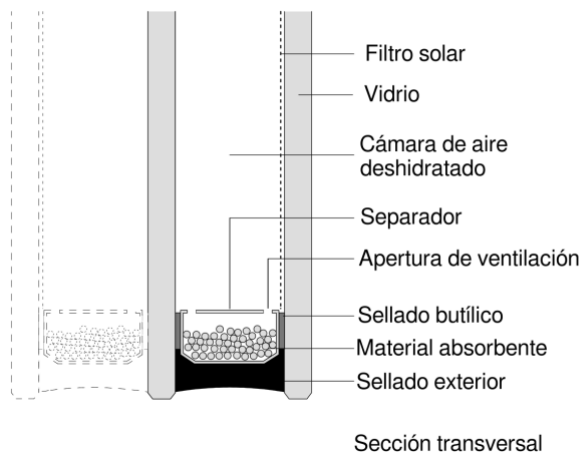


Figura 5.7. Descripción del cristal

*Fuente: IDAE*

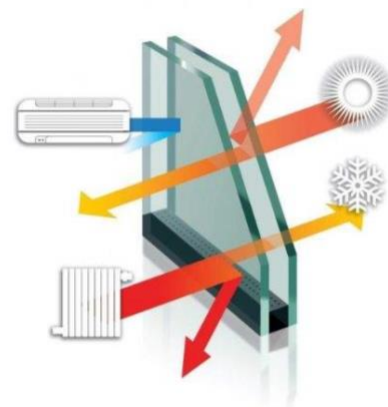


Figura 5.8. Funcionamiento de los cristales dobles. *Fuente: climatit.es*

## 5.4. Factura energética

Se considera que este apartado adquiere una importancia significativa ya que la totalidad de los sistemas de calefacción están suministrados por energía eléctrica, generando una factura mensual muy elevada a la media del resto de hogares.

En el anexo 13.3 se adjunta la factura del consumo eléctrico correspondiente a enero 2020. Dicha factura abarca la residencia principal, pero además dos pisos independientes al edificio de dimensiones pequeñísimas comparadas con el edificio estudiado. Reside un arrendatario en cada uno de estos pisos. No sería una buena aproximación dividir la factura en 3 partes

iguales, ya que el mayor porcentaje se genera en la vivienda principal, pero puede aportar una idea del gasto mensual.

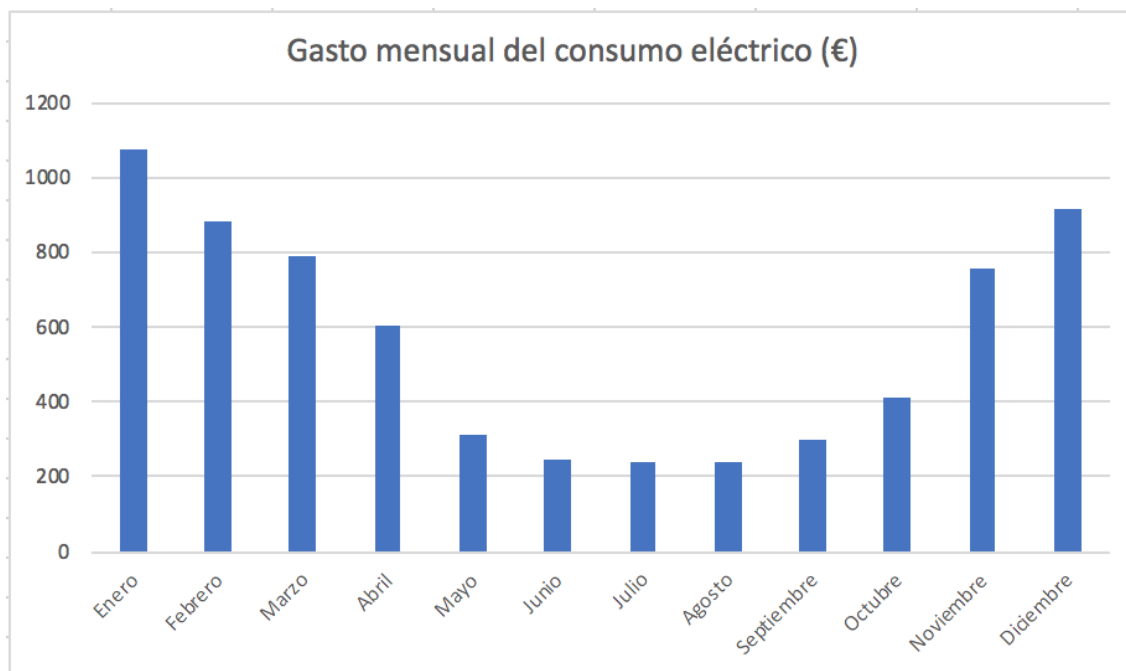


Gráfico 5.1. Gasto mensual del consumo eléctrico.

Se puede analizar en el gráfico 5.1 que el mes de enero es el más desfavorecido, generando un gasto 5 veces mayor que en los meses de verano. Esto se debe a los antiguos equipos de climatización, aparte de disponer de una envolvente térmica mejorable a día de hoy. Cabe destacar también que la vivienda tiene muy buena ventilación en verano y no necesita ningún equipo para climatizarla, cosa que reduce el gasto de forma drástica.

## 6. Simulación

Antes de poder empezar a trabajar con la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), se deben de diseñar los planos en un formato CAD. En este caso, se ha utilizado el software NanoCAD, una buena alternativa gratuita de AutoCAD. Lógicamente no presenta todas las funciones de ésta última plataforma, pero para este proyecto es suficiente. Seguidamente, se importan al software oficial y a partir de allí se define y se edita el edificio en cuestión. Finalmente, se obtiene el certificado energético, así como las verificaciones HE-0 y HE-1.

### 6.1. Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)

Esta herramienta facilita la verificación del CTE y emite un informe para la Certificación energética de edificios. Se trata de la herramienta oficial para realizar los Certificados de Eficiencia Energética (CEE). Está diseñada para definir y llevar a cabo la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios, así como para realizar la mayor parte de los cálculos recogidos en el CTE-HE1 y para la impresión de la documentación administrativa necesaria[14].

Primeramente, se deben introducir una serie de datos generales como el tipo de edificio, su altitud, zona climática, caudal de ventilación, entre otros, de acuerdo con las especificaciones establecidas en el CTE. El caudal de ventilación se ha calculado a partir de los valores de la tabla 6.1, valores establecidos en el Documento Básico de Salubridad. Dicho caudal es la suma de los caudales individuales presentes en dormitorios, salas de estar o el resto de habitaciones.

Tipo de vivienda	Caudal mínimo $q_v$ en l/s				
	Locales secos <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

Tabla 6.1. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables.

*Fuente: CTE*

Más adelante, se procede a definir los materiales y espesores de los elementos constructivos. Una vez terminada la base de datos, se deben importar los planos diseñados en nanoCAD, determinando las alturas de cada una de las plantas. Por último, se diseñan las puertas y ventanas que la casa disponga, así como los diferentes tipos de cubierta.

Este breve resumen nos da una idea de cómo se ha desarrollado el proyecto en la herramienta unificada. Como es lógico, existen muchos pasos intermedios no mencionados, como por ejemplo la creación de sombras. El resultado en perspectiva 3D es el mostrado en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3.

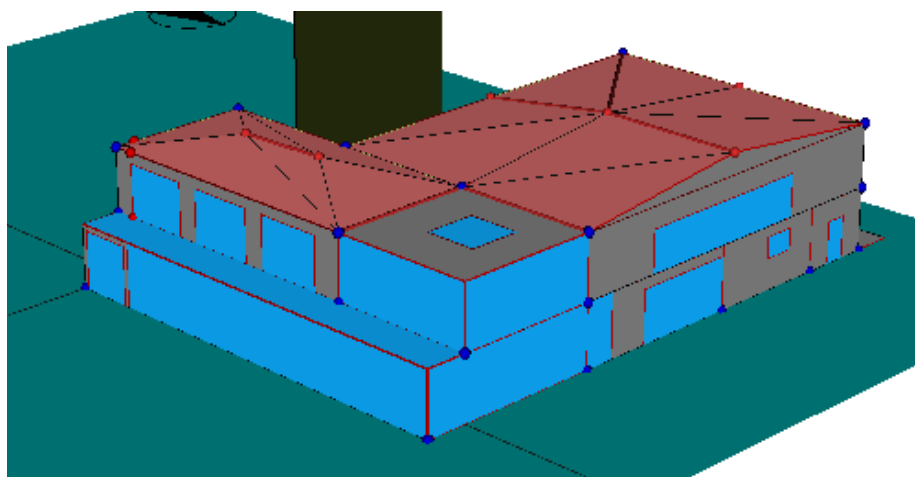


Figura 6.1. Vista en 3D de la parte frontal de la vivienda. *Fuente: HULC*

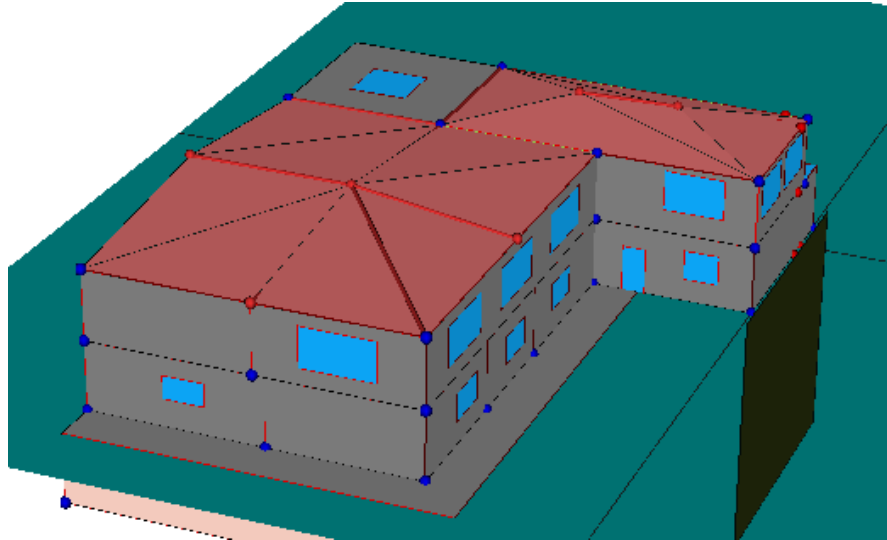


Figura 6.2. Vista en 3D de la parte trasera de la vivienda. *Fuente: HULC*

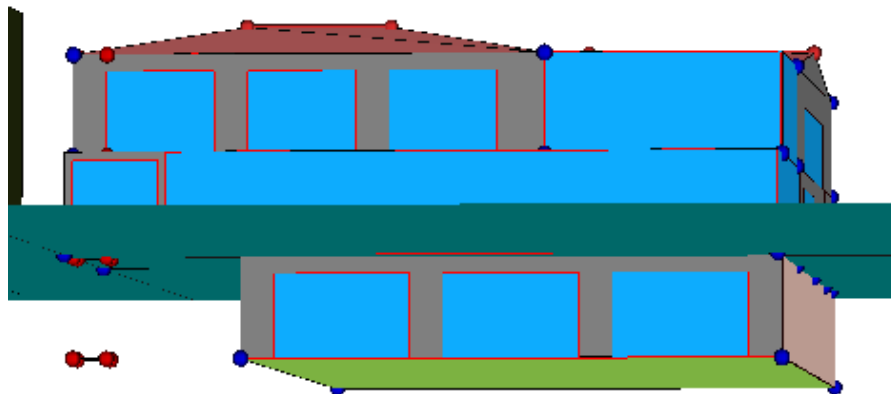


Figura 6.3. Vista en 3D de la parte frontal y garaje de la vivienda. *Fuente: HULC*

#### 6.1.1. Definición de sistemas y equipos

Después de haber modelizado la vivienda, es necesario definir los sistemas de los que se dispone, además de los equipos. Este paso se realiza en el *Calener VYP*, incorporado dentro del programa.

Primeramente, se definen los tipos de sistemas con los que el hogar cuenta (calefacción multizona por agua, mixto calefacción y ACS, etc.), en este caso climatización unizona. En concreto, se definen 6 sistemas de climatización unizona, uno por cada radiador. Seguidamente, se detallan los calefactores eléctricos asignándoles una potencia de 2 kW a cada uno de ellos.

Más adelante, se añade un sistema de ACS, añadiendo 2 termos eléctricos, cada uno de 2,5 kW de potencia, además de una caldera de biomasa no densificada de rendimiento 40% y 18,9 kW representando la chimenea. Se ha cogido como potencia 18,9 kW aproximando 10 kW por m<sup>2</sup> y teniendo en cuenta una altura hasta el techo de 2,5m[15]. El programa también requiere una especificación con respecto a la demanda de ACS. Para dar con una estimación aproximada, se ha recurrido al anexo F del Documento Básico HE Ahorro de energía (incluido en el anexo 13.2), y con una referencia de 28 l/día·persona, se ha introducido una demanda de 112 l/día, tal y como se muestra en la figura 6.5.

Por último, se ha definido un sistema de aire acondicionado en el dormitorio principal de la vivienda, situado en la primera planta. Esta es la única estancia que verdaderamente requiere este equipo, ya que está totalmente acristalada y el sol incide en ella durante gran parte de la jornada. Observamos el árbol del conjunto de sistemas y equipos en la figura 6.4.

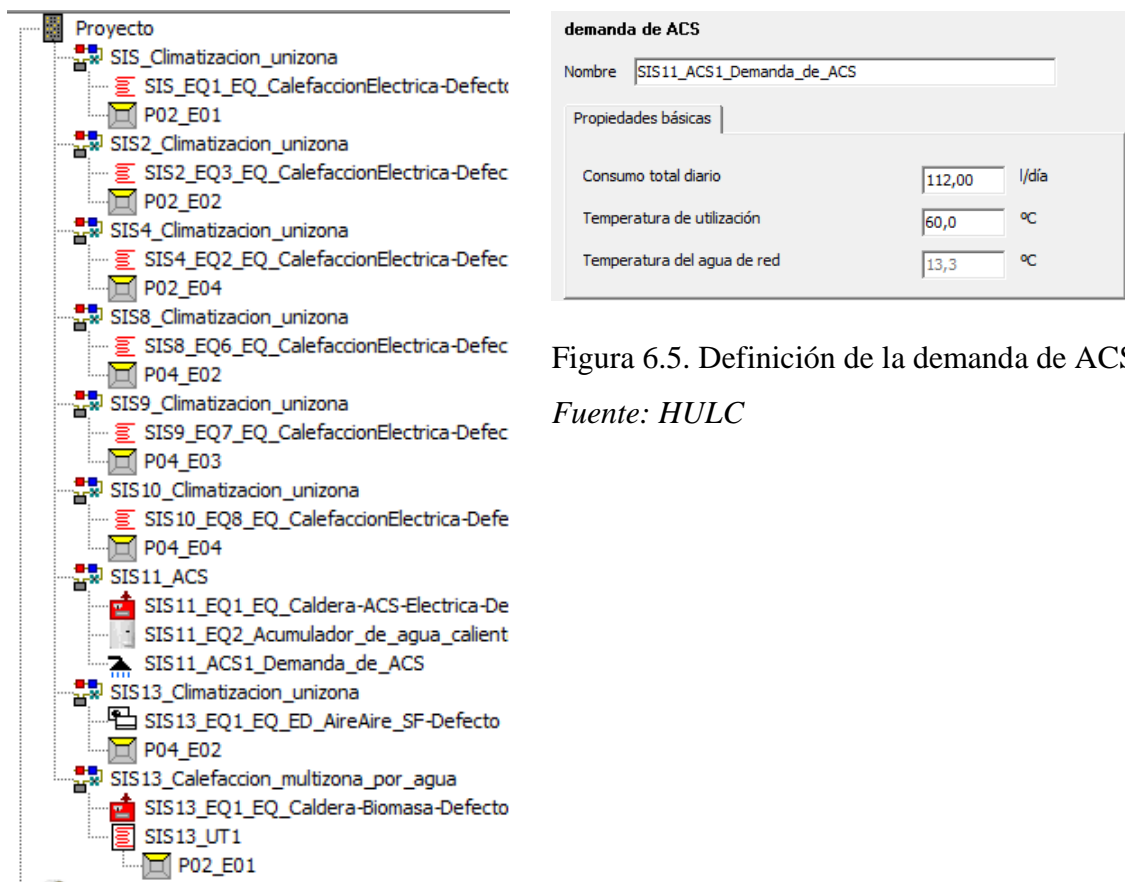


Figura 6.4. Definición de sistemas y equipos

Fuente: HULC

**demanda de ACS**

Nombre:

Propiedades básicas

Consumo total diario	<input type="text" value="112,00"/>	l/día
Temperatura de utilización	<input type="text" value="60,0"/>	°C
Temperatura del agua de red	<input type="text" value="13,3"/>	°C

Figura 6.5. Definición de la demanda de ACS

Fuente: HULC

## 6.2. Diseño de planos en NanoCAD

El funcionamiento de esta herramienta no es precisamente complejo. Los planos vistos en planta de la vivienda introducidos en la herramienta unificada han sido divididos por estancias, tal y como se observa en las figuras 6.6 y 6.7. De esta forma, se podía detallar al programa las zonas habitables y las no habitables, para no generar un consumo excesivo.

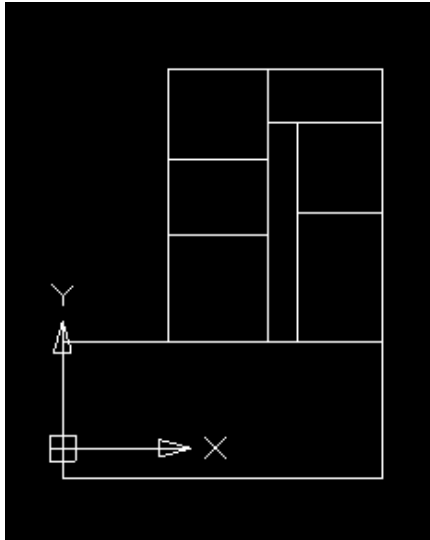


Figura 6.6. Planos en NanoCAD de la planta baja del edificio.

*Fuente: NanoCAD*

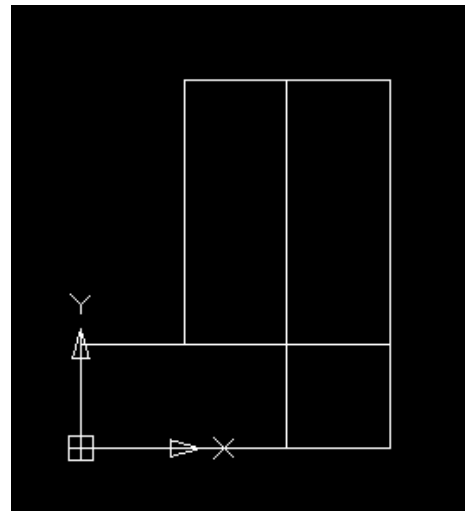


Figura 6.7. Planos en NanoCAD de la primera planta del edificio.

*Fuente: NanoCAD*

También se ha diseñado la planta del garaje, pero no se muestra ya que es un rectángulo sin estancias, además que se definirá como no habitable, por tanto, no tendrá ningún papel importante a la hora de calcular la demanda energética.

### 6.3. Visualizador de Cargas y Demandas

Para poder comparar mejor los resultados obtenidos, se ha recurrido a la herramienta del visualizador de Cargas y Demandas. Este software es de funcionamiento muy sencillo, permitiendo evaluar el comportamiento mensual de cada zona de forma visual, así como los picos de potencia a lo largo del año.

Ofrece unos gráficos de los diferentes meses del año con su correspondiente demanda, y sobretodo su potencia máxima. Este último dato será de gran ayuda a la hora de reforzar equipos y ver en qué parte es necesario cubrir más demanda.



## 7. Resultados

Una vez queda todo bien caracterizado, se procede a analizar los resultados obtenidos de demandas, consumos y emisiones proporcionados por el programa. De esta forma podremos ver si la vivienda se encuentra dentro del rango propuesto por la UE y a nivel nacional.

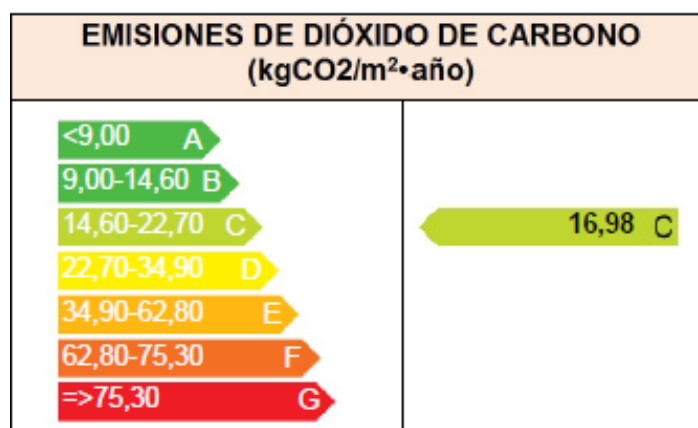


Figura 7.1. Certificado energético actual del hogar. *Fuente: HULC*

Observamos la clasificación del “Estado de la Certificación Energética de los Edificios”, figura 7.1, indicador de contaminación de dióxido de carbono provocado por la calefacción/aire acondicionado/ACS en nuestra edificación, que nos da como resultado un rango C, que va de 14,6 a 22,7 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, con un valor de 16,98 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año. Es un resultado que se encuentra justo en el límite de lo que podría considerarse una contaminación destacable, pero todavía sin llegar a serlo.

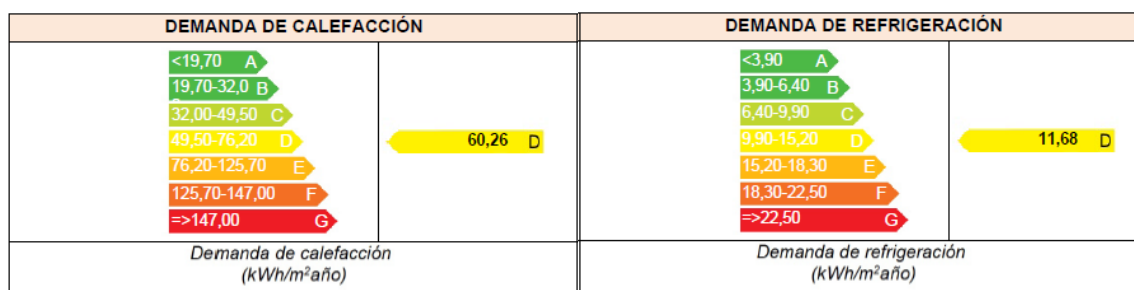


Figura 7.2 y 7.3. Certificado de las demandas anuales actuales de calefacción y refrigeración respectivamente. *Fuente: HULC*

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio. Si nos fijamos en las otras dos certificaciones, observamos que tanto la demanda de calefacción como refrigeración obtienen un resultado D (figuras 7.2 y 7.3).

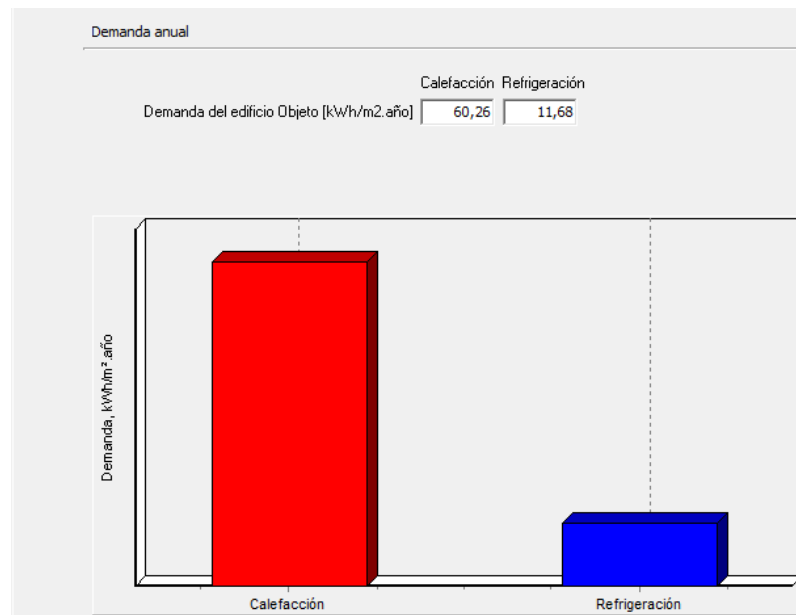


Figura 7.4. Demanda anual actual de calefacción y refrigeración. *Fuente: HULC*

Este tipo de gráfico proporcionado por la herramienta unificada y mostrado en la figura 7.4, compara la demanda del edificio actual con el límite establecido. Como se ha comentado anteriormente, la demanda de calefacción se sitúa muy por encima del límite, dependiendo este de la zona climática y de la superficie útil de los espacios habitables. De todas formas, no prestaremos demasiada atención al límite establecido, ya que solo aplicaría a edificios nuevos, sin embargo, puede dar una idea del estado de la vivienda actual comparado con los requisitos y limitaciones a día de hoy.

Por otro lado, la demanda de refrigeración se encuentra dentro del límite. Vemos esta gran diferencia ya que la vivienda no está situada en el centro de la ciudad, lugar dónde se verían unos números más parejos. Al ser una casa antigua y sin ninguna reforma en aislamientos o

cambio de materiales, la demanda de calefacción en invierno se ve aumentada, llegando a niveles sorprendentemente altos.

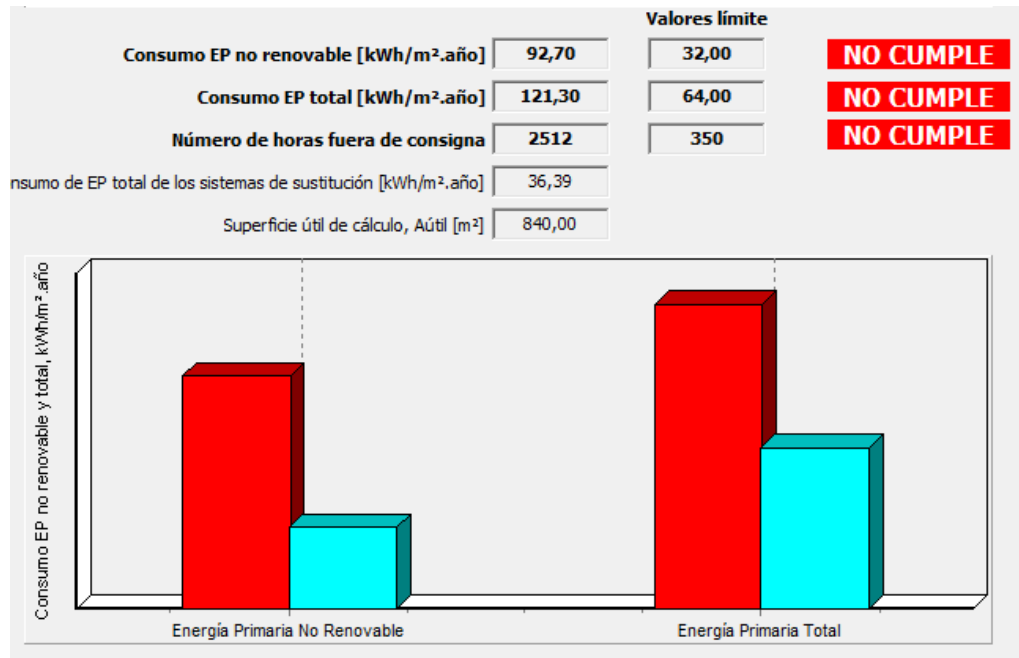


Figura 7.5. Consumo de energía y cumplimiento del HE-0 del CTE. *Fuente: HULC*

El último gráfico que nos proporciona la plataforma, figura 7.5, es la comparativa del consumo de energía primaria (EP) no renovable del edificio. Otra vez más analizamos estos resultados tan descompensados. En la actualidad se está consumiendo el doble de EP de lo establecido.

Se observan también 3 avisos “NO CUMPLE”. En este caso no nos fijaremos en eso, ya que solo aplica a edificios nuevos o a grandes reformas estructurales. Sin embargo, esto no implica que no se estudien los números ya que después de cada mejora se intentarán reducir. El número de horas fuera de consigna equivale al número de horas en que los sistemas son insuficientes para cumplir la demanda.

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m²año</b>	60,26	11,68	3,02	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m²año</b>	62,11	4,68	3,36	0,00	0,00
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m²año</b>	102,32	11,07	7,95	-	0,00
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m²año</b>	77,04	9,14	6,56	-	0,00
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m²año</b>	25,28	1,94	1,39	-	0,00
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m²año</b>	14,32	1,55	1,11	-	0,00

Tabla 7.1. Resumen de la demanda y consumos energéticos consumidos en el hogar.

*Fuente: HULC*

La tabla 7.1 nos da información más detallada sobre el gasto energético del hogar, además de la demanda y emisiones. Es obvio que el problema más grave de esta vivienda es el exagerado consumo de calefacción, ya que aumenta la problemática en todos los aspectos.

Finalmente, recurrimos al visualizador de demandas mensuales y cargas punta con el objetivo de dividir la demanda en los diferentes meses del año y en las diferentes estancias, para poder estudiar con más precisión cuales son las más afectadas y por tanto en qué lugares se debería invertir más. Además, se pueden ver cuáles son los meses más críticos, principales responsables de la cantidad de horas fuera de consigna, y con qué potencia se conseguiría un nivel de confort más aceptable.

La estancia más crítica es la sala de estar de la planta inferior (P02-E01) debido a su envolvente térmica compuesta casi en su totalidad de ventanales, que permiten pasar el frío o calor más fácilmente. A su vez influye también la extensión, y por ser esta la estancia más amplia de la vivienda, lleva más tiempo y demanda climatizarla. Los gráficos 7.1 y 7.2 muestran dos espacios diferentes de la vivienda a modo de comparación entre ellos y con las futuras mejoras.

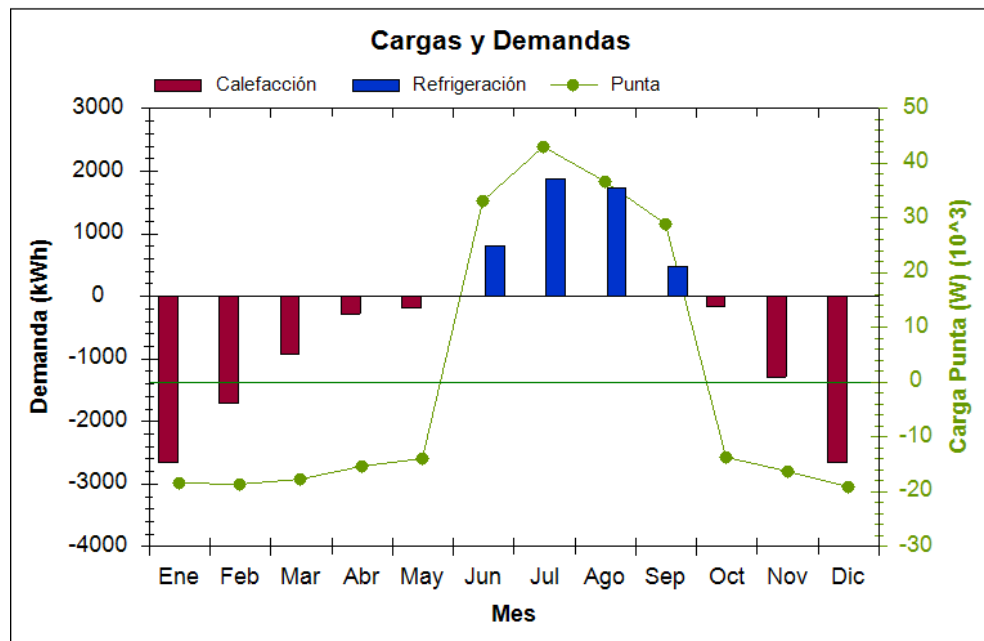


Gráfico 7.1. Distribución de demandas y cargas punta en los meses del año en la estancia P02-E01. Fuente: Visualizador de Cargas y Demandas

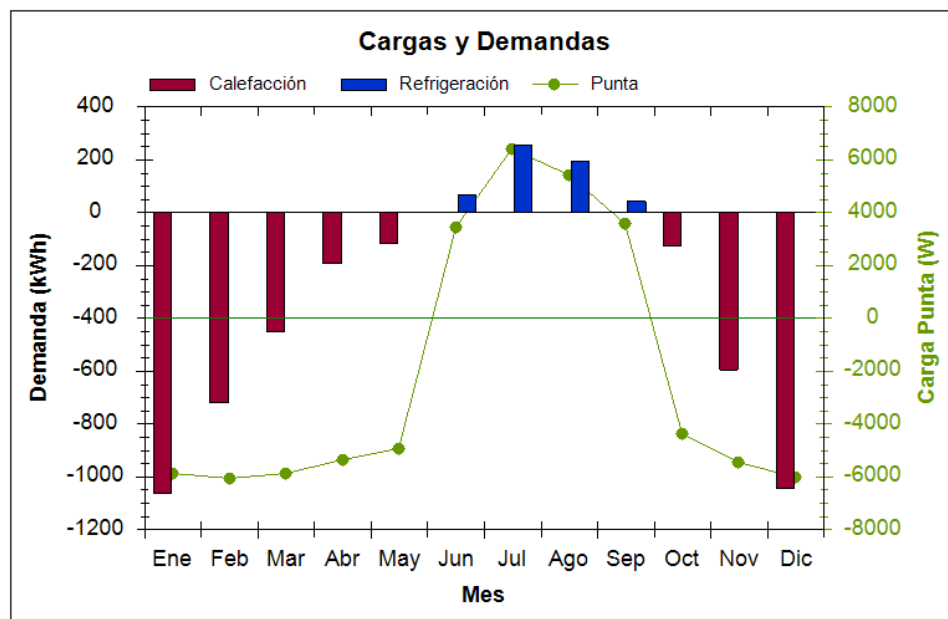


Gráfico 7.2. Distribución de demandas y cargas punta en los meses del año en la estancia P04-E02. Fuente: Visualizador de Cargas y Demandas

## 8. Mejoras para la eficiencia energética

Viendo los resultados anteriores, queda muy claro que se debe llevar a cabo una reforma con el objetivo de reducir el consumo de energía primaria no renovable, pero sobretodo la demanda de calefacción. A continuación, se exponen varias propuestas que ayudarán a contribuir en esta reducción.

### 8.1. Mejoras de la envolvente térmica

#### 8.1.1. Muros

La primera implantación que debería llevarse a cabo sería modificar la composición de los muros exteriores. Actualmente, estos cuentan con una  $U=1,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , pero modificando ligeramente las capas, se podría ver notablemente reducida y consecuentemente colaborando en la reducción de la demanda.

Para el aislamiento de muros hay distintos sistemas en el mercado que garantizan la protección termo-acústica. El más recurrido son planchas de poliestireno ya que garantiza un buen aislamiento. Añadiendo este material a los muros, la  $U$  se ve reducida hasta un valor de  $0,97 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , con tan solo un espesor de  $0,115 \text{ m}$ . Este valor todavía se sitúa por encima del umbral establecido en la tabla 5.1. Si se quiere entrar dentro del límite, solamente se tendría que aumentar el espesor de la capa de aislante unos milímetros. No siempre es lo más recomendable, ya que se debería hacer un estudio económico detallado para ver si saldría rentable.

#### 8.1.2. Ventanas

El sistema de acristalamiento utilizado es casi el óptimo, ya que la capa de aire en el interior garantiza el aislamiento térmico y acústico. No obstante, al reformar la vivienda, solamente se cambiaron unos pocos cristales, en concreto los de la sala de estar en la planta baja. Como

se ha visto, la vivienda cuenta con muchas zonas acristaladas, que a día de hoy están formadas por simples cristales monolíticos. Un cambio en dichas zonas por el cristal empleado en la planta baja mejoraría considerablemente el bienestar interior sin necesidad de consumir tanto.

Por otro lado, se debería plantear una instalación de persianas, ya que actualmente solo se cuenta con cortinas translucidas que prácticamente no tienen efecto alguno. En las horas que no se utilicen las estancias o salas comunes, por ejemplo, durante la noche, estas ayudarían a frenar el frío en invierno o el calor en verano. Sería una instalación fácil y asequible pero que acercaría al hogar al objetivo propuesto.

## **8.2. Instalación de energías renovables**

A continuación, se proponen varias alternativas para la generación de energía eléctrica basadas en las energías renovables, que provienen de recursos naturales y de fuentes inagotables, todas aquellas que, al producirlas, no contaminan.

### **8.2.1. Energía solar**

Este tipo de energía utiliza el sol como principal y única fuente. Su objetivo es transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Para acabar de entender este sistema, es necesario definir algunos conceptos básicos de radiación.

Cuando una unidad de potencia radiante incide sobre una superficie, se distribuye como en la figura 8.1, una parte es absorbida, una parte es reflejada y el resto se transmite entre medio de la estructura reticular del sólido sin que esto represente un calentamiento del mismo[16].

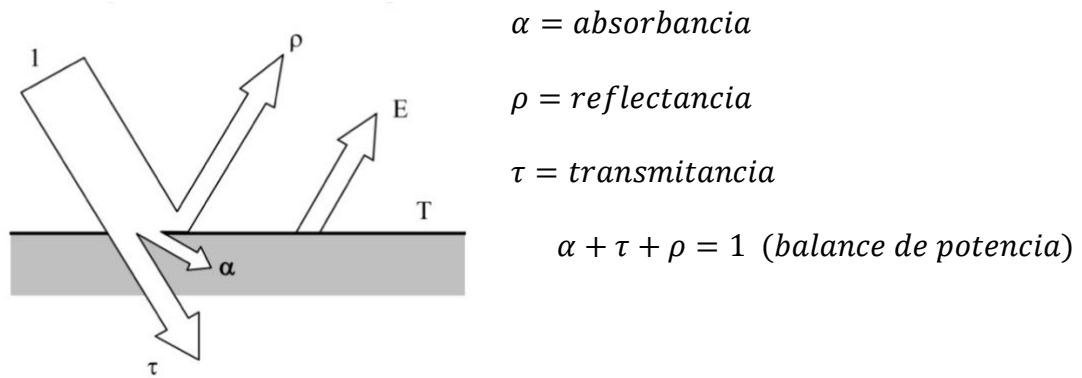


Figura 8.1. Distribución de una unidad incidente de radiación. *Fuente: Transferència de calor, Lluís Albert Bonals*

### Placas fotovoltaicas

La idea de las placas fotovoltaicas es atraer la máxima radiación solar, es decir, que el factor de absorbancia sea lo más cercano a 1. A este tipo de cuerpos se les denomina cuerpos negros.

Como ya se ha comentado antes, estas placas se basan en el efecto fotoeléctrico. Éste se produce cuando una superficie queda expuesta a la radiación electromagnética y sobre su frecuencia mínima. En este caso, los fotones impactan sobre los electrones del metal arrancando sus átomos y así generando una corriente eléctrica[17].

En el caso de las placas solares, la superficie expuesta es la célula solar, constituida principalmente por silicio. Una vez se crea la corriente continua, circula hasta un inversor solar dónde la transforma en corriente alterna. Finalmente, esta CA se dirige hacia el cuadro de protecciones dónde se distribuye en función de la demanda del hogar. Si la energía producida no fuera suficiente, la vivienda se ayuda de la red eléctrica[18]. Se emplean a su vez baterías con el objetivo de cubrir la demanda eléctrica también en las horas nocturnas. La figura 8.2 resume de forma adecuada el anterior procedimiento.



Este sistema es muy recomendable a largo plazo ya que aunque se requiere de una inversión inicial de aproximadamente de 4.000-6.000€, en adelante la factura eléctrica se vería reducida aproximadamente un 50%[19].



Figura 8.2. Esquema del funcionamiento de placas fotovoltaicas. *Fuente: inarquia.es*

### 8.2.2. Biomasa

Este tipo de fuente de energía utiliza todo tipo de materia orgánica capaz de transformarse en energía. Existen 3 tipos de biomasa: biomasa natural, biomasa residual y biomasa producida[20].

#### Calderas de biomasa

Las calderas de biomasa se consideran como las más limpias del mercado, ya que usan biomasa como fuente de energía. Su funcionamiento es muy similar a las calderas convencionales: queman el combustible (en este caso pellets o cualquier tipo de materia orgánica) creando una llama que entra en la caldera. La energía en forma de calor generada es transmitida al circuito de agua en el intercambiador de la caldera, obteniendo agua caliente para la calefacción o ACS. Queda materia residual en forma de ceniza que se deberá ir vaciando. La figura 8.3 muestra de forma visual este mecanismo. Estas calderas se pueden

clasificar según el tipo de combustible (policombustibles o pellets) o según su tecnología[21]:

- **Caldera estándar de biomasa:** rendimiento de hasta un 92%. Sistemas automáticos de alimentación, limpieza del intercambiador y extracción de cenizas. (Figura 8.4)
- **Calderas adaptadas a biomasa:** Rendimientos entre el 75-85%. Son calderas preparadas para combustibles fósiles que han sido adaptadas a la biomasa.
- **Calderas de pellet condensación:** Utilizan el pellet como combustible, son pequeñas y presentan el rendimiento más alto de todas las calderas.
- **Calderas mixtas:** Rendimiento aproximado del 92%. Aceptan por lo menos 2 tipos de combustible.

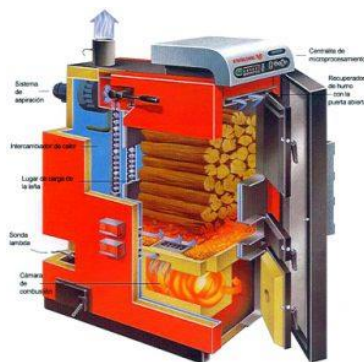


Figura 8.3. Mecanismo interno de una caldera de biomasa

*Fuente: tecpa.es*



Figura 8.4. Ejemplo de caldera estándar de biomasa.

*Fuente: materialesdefabrica.com*

### 8.2.3. Energía solar térmica

Los sistemas de energía solar térmica transforman la radiación solar en energía térmica. Los equipos encargados de esta transformación son los colectores solares o captadores. Estos pueden ser planos o tubulares de vacío. Su misión principal es calentar un líquido basado en agua y anticongelante que circula por el sistema primario. La energía acumulada en forma de calor es transportada hacia el circuito secundario pasando por un intercambiador. En este circuito secundario se encuentra el depósito de agua que es calentada con el líquido

proveniente del circuito primario y ya finalmente preparada para ser consumida[22]. La figura 8.5 retrata perfectamente este funcionamiento.

Este tipo de tecnología se utiliza principalmente para producir ACS. Sin embargo, también podría ser utilizada para un sistema de calefacción. En este caso, sería ideal ya que se podría sacar provecho a toda la instalación ya montada de superficies radiantes sin apenas coste alguno.

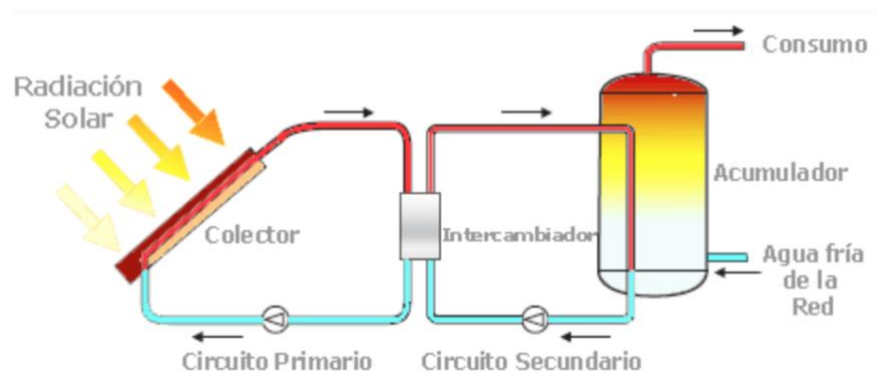


Figura 8.5. Esquema del funcionamiento de los paneles solares térmicos

### 8.3. Aumento del rendimiento de los equipos actuales

Si los habitantes de la vivienda no desean arriesgarse por una apuesta al mundo de las energías renovables, otra opción posible pero no tan efectiva como las demás, es la sustitución de los termos eléctricos actuales por otros de bajo consumo y mayor eficiencia. Asimismo, los radiadores eléctricos que la vivienda posee tienen bastantes años, desprenden olores y no son muy eficientes. Una sustitución de todos estos calefactores por otros que el mercado de hoy en día ofrece con una tecnología de bajo consumo reduciría la demanda eléctrica, así como su coste mensual.

Con independencia de todas las reformas o instalaciones propuestas en los anteriores apartados, una recomendación que no se debería pasar por alto es el cambio del alumbrado del hogar. Actualmente este se caracteriza por tener dispuesto por toda la vivienda bombillas

halógenas, lo que provoca un aumento elevado en la factura de luz, así como en su demanda eléctrica. A priori, podría parecer que una instalación total de bombillas LED provocaría un gasto desmesurado, pero en realidad no es así. Las bombillas con tecnología LED tienen una durabilidad entre 8 y 10 veces mayor a las halógenas. Debido a que no es necesario calentar un filamento, otra ventaja de las bombillas LED es la eficiencia energética. No se desperdicia energía y es posible ahorrar hasta un 80%.

## 9. Resultados con mejoras aplicadas

A continuación, observaremos una evolución progresiva de la reducción de la demanda energética y el aumento de su eficiencia aplicando las diferentes mejoras mencionadas en el apartado anterior.

### 9.1. Envolverte térmica

En este apartado se hará una simulación de la vivienda como si hubiésemos implementado las mejoras mencionadas relacionadas con su envolvente térmica:

- Instalación de persianas en los diferentes ventanales.
- Sustitución de cristales monolíticos por los de tipo doble de 4mm. De espesor y una cámara intermedia de 12mm.
- Adición de una capa intermedia de 20 mm de espesor de poliestireno con una conductividad de  $0,038 \frac{W}{m \cdot K}$  en los muros exteriores.

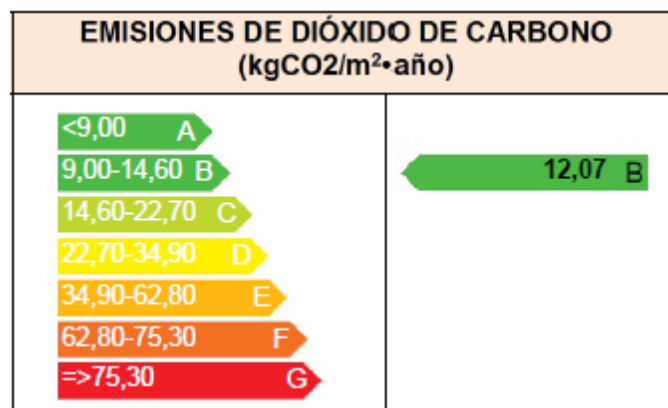


Figura 9.1. Certificado energético del hogar con las mejoras de la envolvente.

Fuente: HULC

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
<div><div>&lt;19,70 A</div><div>19,70-32,0 B</div><div>32,00-49,50 C</div><div>49,50-76,20 D</div><div>76,20-125,70 E</div><div>125,70-147,00 F</div><div>=&gt;147,00 G</div></div>	<div>41,51 C</div>	<div><div>&lt;3,90 A</div><div>3,90-6,40 B</div><div>6,40-9,90 C</div><div>9,90-15,20 D</div><div>15,20-18,30 E</div><div>18,30-22,50 F</div><div>=&gt;22,50 G</div></div>	<div>6,83 C</div>
Demanda de calefacción (kWh/m²año)		Demanda de refrigeración (kWh/m²año)	

Figuras 9.2 y 9.3. Demandas anuales con las mejoras de la envolvente aplicadas de calefacción y refrigeración respectivamente. *Fuente: HULC*

Destaca ya una gran mejora en todos los aspectos. Observamos que tanto la demanda de calefacción como la de refrigeración han mejorado una letra, pasando de una D a una C, mostrado en las figuras 9.2 y 9.3. Asimismo, el certificado energético de emisiones de dióxido de carbono también sube un escalón, situándose en una B (figura 9.1).

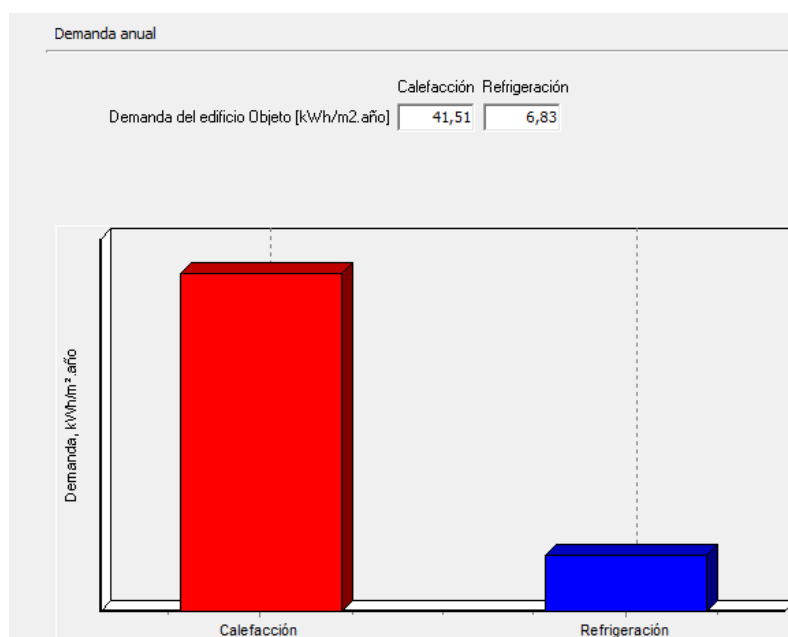


Figura 9.4. Demanda anual de calefacción y refrigeración con mejoras de la envolvente aplicadas. *Fuente: HULC*

Analizando el gráfico de cálculo de demandas de calefacción y refrigeración, representado en la figura 9.4, Verificación HE-1, la demanda de calefacción se ha visto reducida una tercera parte comparada con la del edificio original. Todavía se sitúa fuera de los límites

establecidos por la nueva normativa, no obstante, se ha podido reducir a razón de 18,75 kWh/m<sup>2</sup>·año.

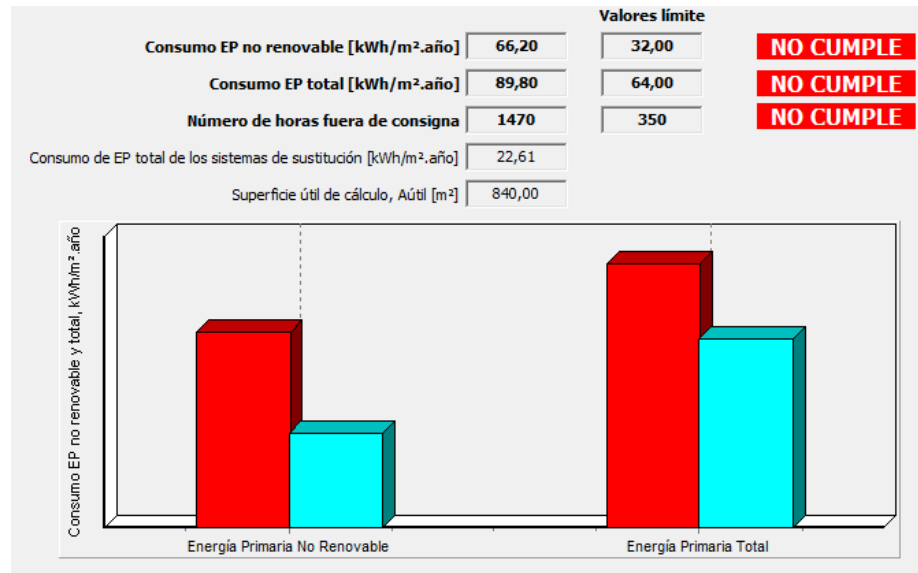


Figura 9.5. Consumo de energía y cumplimiento del HE-0 del CTE con mejoras de la envolvente aplicadas. *Fuente: HULC*

Sucede el mismo caso con el consumo de EP no renovable. Se reduce notablemente en comparación al anterior, pero sin cumplir con los límites. Se vuelve a recalcar que en este estudio nuestro principal objetivo no es estar dentro de estos, ya que no se trata de la construcción de un nuevo edificio, sino de intentar modificar uno ya existente. La figura 9.5 lo representa con la comparativa de los límites establecidos y el consumo actual.

El factor que más se ha visto afectado son el número de horas fuera de consigna, pasando de 2512 horas a 1470 en este caso. Con las mejoras implantadas, los equipos actuales serán capaces de cubrir algunos picos de demanda que anteriormente no era posible.

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	41,51	6,83	3,02	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	45,90	2,77	3,36	0,00	0,00
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	75,27	6,57	7,95	-	0,00
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	54,26	5,42	6,56	-	0,00
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	21,01	1,15	1,39	-	0,00
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m<sup>2</sup>año</b>	10,05	0,92	1,11	-	0,00

Tabla 9.1. Resumen de la demanda y consumos energéticos consumidos en el hogar con mejoras de la envolvente aplicadas. *Fuente: HULC*

En la tabla 9.1 se observa la gran reducción en la demanda de calefacción y refrigeración, así como también la energía primaria no renovable y las emisiones de dióxido de carbono. Como es lógico, la demanda de ACS se mantiene estable comparado con el anterior, ya que en esta sección solamente se han aplicado mejoras a la envolvente.

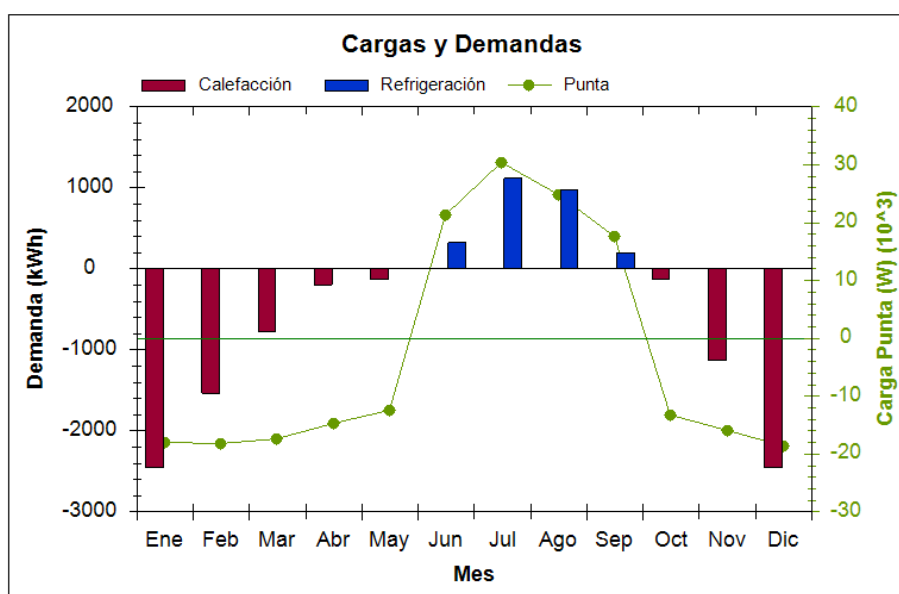


Gráfico 9.1. Distribución de demandas y cargas punta en los meses del año en la estancia P02-E01 con mejoras de la envolvente aplicadas. *Fuente: Visualizador de Cargas y Demandas*



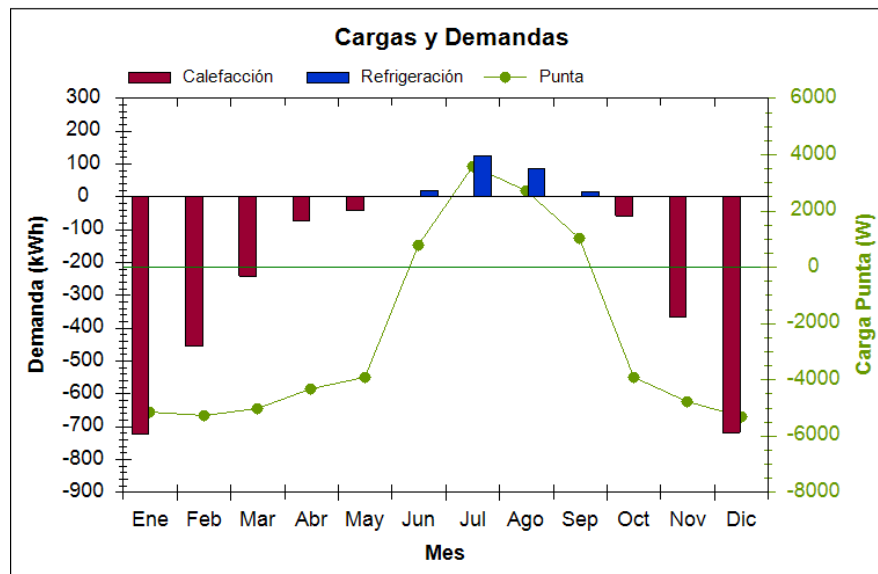


Gráfico 9.2. Distribución de demandas y cargas punta en los meses del año en la estancia P04-E02 con mejoras de la envolvente aplicadas. *Fuente: Visualizador de Cargas y Demandas*

Podemos observar como las cargas puntas han disminuido gracias a las nuevas implementaciones. Los gráficos 9.1 y 9.2 serán de gran utilidad para, posteriormente, poder definir la potencia requerida en cada estancia, y así consumir la energía eléctrica necesaria acorde con la demanda.

## 9.2. Sustitución de equipos

En este último apartado de mejoras se simulará el hogar con los sistemas y equipos más eficientes a nuestro alcance. Es por esto que se le dará uso al sistema de superficies radiantes ya instalado. Además, se sustituirá la caldera eléctrica actual por una de biomasa de 50 kW de potencia que trabaja con pellets como combustible, reduciendo significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía primaria no renovable. En la simulación, aproximaremos el sistema de superficies radiantes con un sistema de calefacción multizona por agua impulsado por una caldera de biomasa con radiadores repartidos por las diferentes estancias.

Este sistema sustitutivo permitirá cubrir la demanda térmica de una forma mucho más eficiente, ya que actualmente se cuenta con una tarifa de potencia insuficiente y radiadores eléctricos que no pueden estar conectados simultáneamente. La caldera que se propone tendría suficiente potencia para cubrir casi todos los picos de demanda, reduciendo las horas fuera de consigna, es decir, aumentando el bienestar térmico en el hogar.

A continuación, se estudiará si realmente se reduce el consumo de emisiones de CO<sub>2</sub> o si su efecto es casi despreciable y por tanto no vale la pena su instalación.

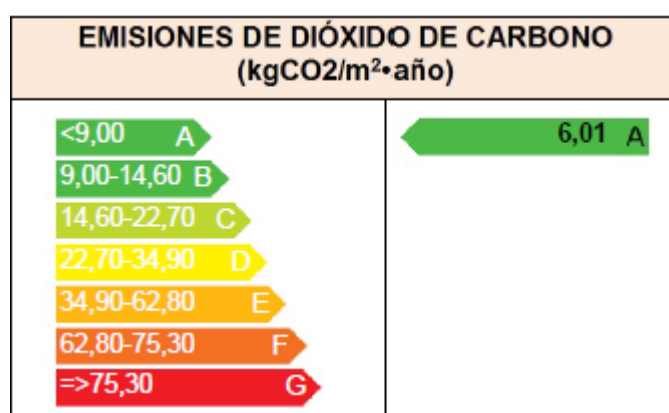


Figura 9.6. Certificado energético final del hogar. *Fuente: HULC*

En la figura 9.6 se observa como la eficiencia energética ha mejorado en comparación al edificio en su forma original. Este certificado nos dice que estamos casi en la cumbre con lo que se refiere a eficiencia, es decir, se estaría consumiendo lo mínimo. Cabe destacar que, aunque el software nos muestre una calificación energética con la letra A, no significa que se tenga un gasto energético casi nulo, ya que solamente tiene en cuenta los sistemas de calefacción, refrigeración y demanda de ACS. Es cierto que estos 3 componentes consumen la mayoría de la demanda energética total, no obstante, no podemos dejar de lado al consumo de los diferentes electrodomésticos, ordenadores, iluminación, televisores, etc. Por tanto, este indicador nos muestra que se ha mejorado en lo que concierne a la climatización y demanda de ACS del hogar, pero probablemente el certificado energético global mostraría un gasto de energía eléctrica un poco más elevado.

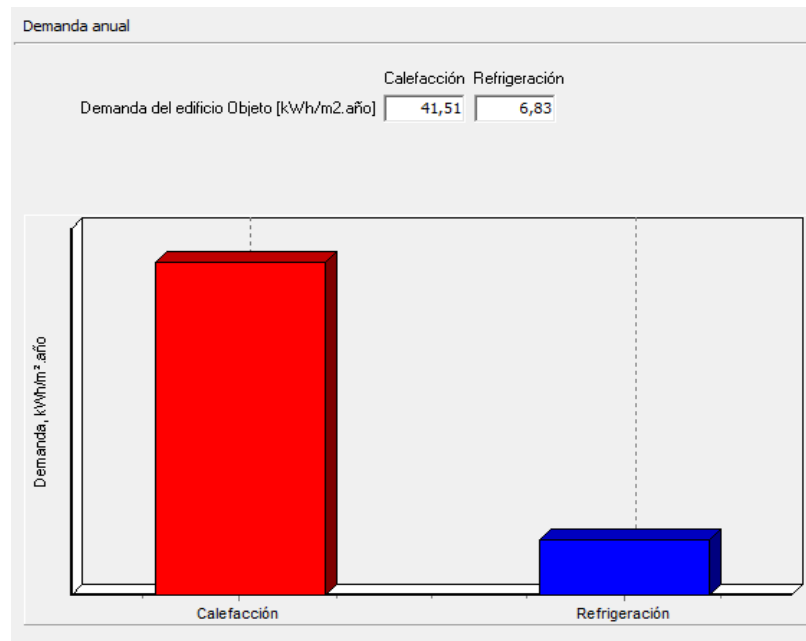


Figura 9.7. Demanda anual de calefacción y refrigeración finales. *Fuente: HULC*

Como es de esperar, la demanda anual de calefacción y refrigeración se ha visto inalterada, la figura 9.7 calca la 9.6. En este apartado no se han realizado mejoras correspondientes a la reducción de demanda, sino que se ha intentado incluir equipos más eficientes. Esto hace que los números se mantengan, pero que la forma y recursos de cubrirlos sea mucho más sostenible.

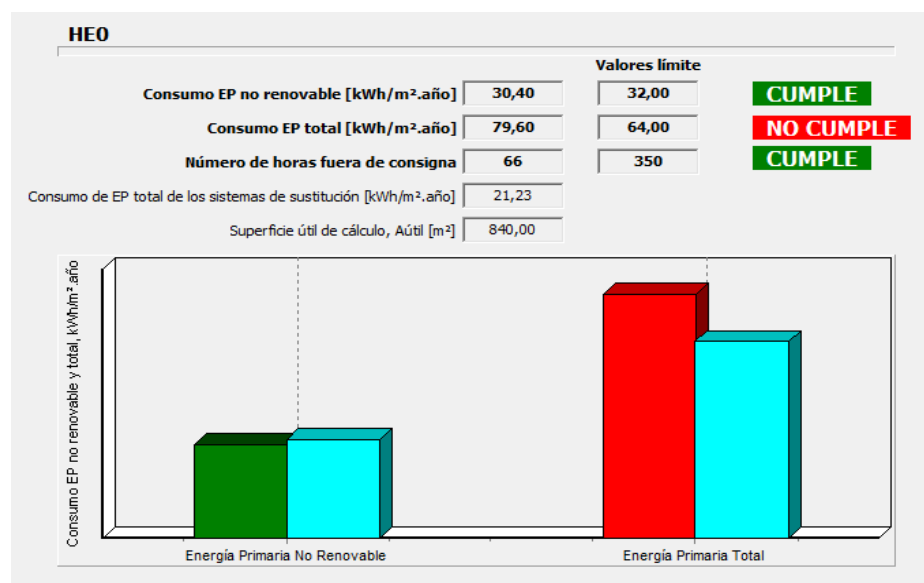


Figura 9.8. Consumo de energía y cumplimiento del HE-0 del CTE final. *Fuente: HULC*

En la figura 9.8 es donde realmente se ve la diferencia de este apartado. La incorporación de la caldera de biomasa consigue ahorrar la totalidad del consumo eléctrico causado por los antiguos radiadores y, al aplicar biomasa como fuente de energía, reduce el valor de consumo de energía primaria no renovable posicionándose dentro de los límites. Cubriendo la demanda de esta forma no solo reduces las emisiones de CO<sub>2</sub> a casi cero, sino que también aumentas el grado de confort. Esto se observa en el número de horas fuera de consigna, dónde este ha bajado de 1470 a 66 horas. Esto hace que solamente pocos días del año los equipos no puedan cubrir los picos de demanda.

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m²año</b>	41,51	6,83	3,02	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m²año</b>	57,99	2,77	3,36	0,00	0,00
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m²año</b>	65,06	6,56	7,95	-	0,00
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m²año</b>	18,46	5,42	6,56	-	0,00
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m²año</b>	46,60	1,15	1,39	-	0,00
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m²año</b>	3,98	0,92	1,11	-	0,00

Tabla 9.2. Resumen final de la demanda y consumos energéticos del hogar. *Fuente: HULC*

A modo de resumen, se detallan en la tabla 9.2 todos los valores mencionados anteriormente, dónde la demanda se mantiene, pero la energía primaria no renovable y las emisiones de CO<sub>2</sub> son los principales factores que se ven reducidos y por tanto hacen el hogar mucho más eficiente.

## 10. Impacto ambiental

A lo largo del proyecto se han estudiado 2 ejes de mejora con el objetivo de aumentar la eficiencia energética: reducir la demanda y reducir el consumo. Para solucionar el problema de demanda, se ha actuado sobre la envolvente térmica, añadiendo las mejoras mencionadas en el apartado 9.1. Esto ha provocado una disminución del 28,9% en las emisiones de CO<sub>2</sub>, subiendo un peldaño en la escala de la certificación energética. Centrándonos en el primer objetivo propuesto, se analiza también una caída en la demanda, en concreto una disminución del 31,1% en la de calefacción y de un 41,5% en la de refrigeración. Esto también genera una reducción del consumo de energía primaria no renovable de un 28,6%, y de un 26% del consumo de energía primaria total.

Por otro lado, a la hora de sustituir los actuales equipos de climatización, la demanda como es lógico no se vio alterada, pero las emisiones de CO<sub>2</sub> sufrieron una reducción del 50,2% con respecto a las mejoras de la envolvente térmica. Asimismo, partiendo de estas primeras mejoras, el consumo de energía primaria no renovable cayó un 54,1%, mientras que el consumo de energía primaria total descendió solamente un 11,4%.

Las mejoras implementadas suponen una reducción del 64,6% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> además de una rebaja del 67,2% en el consumo de energía primaria no renovable. Esto provoca que la vivienda cumpla con las especificaciones HE-0 del CTE y haya conseguido su objetivo de eficiencia energética.

## 11. Conclusiones y recomendaciones

Se ha podido apreciar que a medida que avanza el tiempo, países y gobiernos son cada vez más rigurosos en el sector de la eficiencia energética. El estudio preliminar del edificio ya mostraba una calificación correcta ya que la vivienda se basa en la energía eléctrica. De todas formas, el proyecto buscaba mejorar esta marca para así obtener la máxima calificación energética.

En el primer certificado energético la vivienda ha obtenido una C, emitiendo una cantidad de 16,98 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año. Era evidente que la estructura del edificio tenía muchos años, por tanto, una reforma en la envolvente térmica era indiscutible. Una capa de aislante en los muros, la instalación de persianas y la sustitución de los cristales monolíticos por los dobles con cámara de aire intermedia ha hecho que la eficiencia energética de un salto a una B, emitiendo 12,07 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año.

Seguidamente, era necesario sustituir los antiguos radiadores eléctricos por algún sistema más eficiente. Se ha aprovechado que la vivienda ya tiene instalado un sistema de superficies radiantes, y se ha decidido impulsarlo con una caldera de biomasa basada en pellets. Este eje de mejora ha sido muy importante, ya que no solo ha conseguido aumentar su eficiencia energética, sino que también ha cubierto casi la totalidad de picos de demanda.

La combinación obtiene una calificación total A, con una cantidad de emisiones de 6,01 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año. Consecuentemente, se puede afirmar que se han alcanzado los objetivos propuestos con éxito.

Por último, se recomienda estudiar más en profundidad la viabilidad de la energía solar para impulsar el ACS necesaria para el sistema de calefacción, ya que se dispone del terreno suficiente, y podría ser en un futuro una alternativa interesante a la biomasa. También se recomienda hacer un estudio exhaustivo de la viabilidad económica para evaluar el coste de inversión de todos los sistemas y reformas mencionados anteriormente, estudiando el ahorro en la factura energética y sus años de amortización.

## 12. Bibliografía

- [1] «documentos\_Informe\_SPAHOUSEC\_ACC\_f68291a3.pdf». Accedido: sep. 09, 2020. [En línea]. Disponible en:  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf).
- [2] «Al día | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/datos/aldia> (accedido sep. 10, 2020).
- [3] «El 40% de la electricidad producida en España en 2018 fue de origen renovable», *Comercializadora eléctrica para empresas TOTAL*, ene. 15, 2019.  
<https://www.gasyelectricidad.total.es/casi-mitad-produccion-electricidad-en-espana-fue-de-origen-renovable-2018> (accedido sep. 03, 2020).
- [4] «No, España no tiene la luz más cara de Europa: los españoles pagan la quinta más alta de la UE». <https://elperiodicodelaenergia.com/no-espana-no-tiene-la-luz-mas-cara-de-europa-los-espanoles-pagan-la-quinta-mas-alta-de-la-ue/> (accedido sep. 03, 2020).
- [5] «BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2013-3904».  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3904> (accedido sep. 08, 2020).
- [6] «Publicado el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación | IDAE». <https://www.idae.es/noticias/publicado-el-real-decreto-7322019-de-20-de-diciembre-por-el-que-se-modifica-el-codigo> (accedido sep. 08, 2020).
- [7] «DBHS.pdf». Accedido: sep. 09, 2020. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>.
- [8] «En el punto de mira: la eficiencia energética de los edificios», *Comisión Europea - European Commission*. [https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17\\_es](https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_es) (accedido sep. 08, 2020).
- [9] «Cómo funcionan los radiadores eléctricos». <http://www.radiadores-electricos.es/como-funcionan-los-radiadores-electricos/> (accedido ago. 11, 2020).
- [10] «Radiadores eléctricos». <https://www.hogarsense.es/calefaccion/radiadores-electricos> (accedido ago. 11, 2020).
- [11] «Funcionamiento Básico del Termo Eléctrico Tradicional | Construpedia, enciclopedia construcción».

[https://www.construmatica.com/construpedia/Funcionamiento\\_B%C3%A1sico\\_del\\_Termo\\_El%C3%A9ctrico\\_Tradicional](https://www.construmatica.com/construpedia/Funcionamiento_B%C3%A1sico_del_Termo_El%C3%A9ctrico_Tradicional) (accedido ago. 12, 2020).

[12] «Tipos de cristales para ventanas - El Blog de CLIMALIT», *Climalit*, ago. 24, 2015. <https://climalit.es/blog/tipos-cristales-ventanas-escoger-mas-te-conviene/> (accedido ago. 13, 2020).

[13] «Ventana vidrios climalit o de cámara | Doble acristalamiento», *Carpinteria / Cerramientos / Ventanas aluminio y PVC / Barcelona / Fenster*, jun. 03, 2012. <https://www.fenster.es/productos/vidrios-cristales-ventanas-climalit/climalit-camara-doble-acristalamiento/> (accedido ago. 13, 2020).

[14] «Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)». <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener.html> (accedido ago. 14, 2020).

[15] «¿Cómo calcular la potencia térmica de chimenea o estufa?2020 Blog». <https://materialesalicante.com/como-calcular-la-potencia-termica-que-necesitamos-de-nuestra-estufa-de-lena-o-chimenea/> (accedido ago. 24, 2020).

[16] «Teoría y Transparencias de Clase - Google Drive». <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1Peax99jk2kohx-e6XPMPlqNOnn2RhMRW> (accedido sep. 10, 2020).

[17] «Efecto fotoeléctrico». <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm> (accedido ago. 16, 2020).

[18] «¿Cómo funcionan y qué son las placas solares?» <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-funcionamiento/> (accedido ago. 16, 2020).

[19] «¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?», *Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica> (accedido ago. 16, 2020).

[20] «¿Qué es la biomasa? Centrales de energía de la biomasa». <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa.html> (accedido ago. 17, 2020).

[21] «Cómo funcionan las calderas de biomasa | Formación de ingenieros». <https://www.tecpa.es/biomasa-ventajas-caldera/> (accedido ago. 17, 2020).



[22] «Energía solar térmica. Definición, características y tipos». <https://solar-energia.net/energia-solar-termica> (accedido ago. 25, 2020).